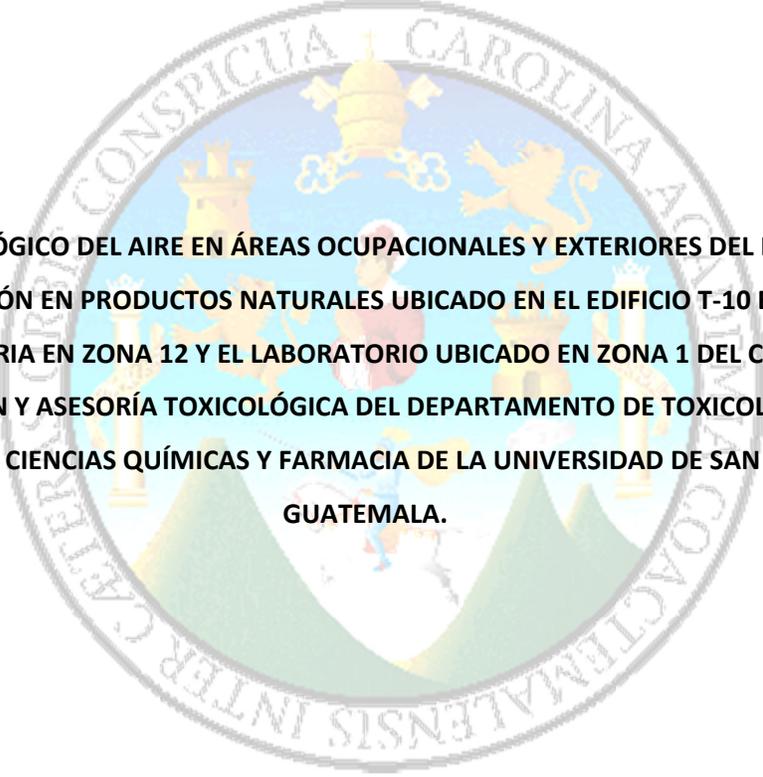


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**



ESTUDIO MICOLÓGICO DEL AIRE EN ÁREAS OCUPACIONALES Y EXTERIORES DEL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN PRODUCTOS NATURALES UBICADO EN EL EDIFICIO T-10 EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA EN ZONA 12 Y EL LABORATORIO UBICADO EN ZONA 1 DEL CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORÍA TOXICOLÓGICA DEL DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PRESENTADO POR

ENRIQUE RAFAEL SOLÍS CAJAS

PARA OPTAR AL TÍTULO DE

QUÍMICO BIÓLOGO

GUATEMALA, MAYO DE 2011

JUNTA DIRECTIVA

Oscar Cobar Pinto, Ph.D.

Decano

Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto, M.A.

Secretario

Licda. Lillian Raquel Irving Antillón, M.A.

Vocal I

Licda. Liliana Vides de Urizar

Vocal II

Lic. Luis Antonio Gálvez Sanchinelli

Vocal III

Br. José Roy Morales Coronado

Vocal IV

Br. Cecilia Liska De León

Vocal V

Índice

Tema	Página
I. Ámbito de la investigación.....	5
II. Resumen.....	6
III. Antecedentes.....	7
A. Departamento de Guatemala.....	7
1. Situación geográfica y meteorológica.....	7
2. Factores socioculturales.....	8
B. Calidad del aire.....	9
1. Contaminación del aire.....	10
2. Impacto sobre la salud humana de los contaminantes del aire.....	12
C. Géneros fúngicos más frecuentes.....	18
1. Ambientes interiores.....	18
2. Ambientes exteriores.....	21
D. Calidad del aire en Guatemala.....	22
1. Estudios previos.....	22
2. Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Proyecto FODECYT 40- 2007.....	23
3. Legislación existente sobre calidad del aire en Guatemala.....	27
E. Calidad del aire a nivel internacional.....	27
1. Niveles de esporas fúngicas en el aire.....	27
F. Métodos de evaluación de la calidad del aire interior y exterior.....	28
1. Muestreo ambiental.....	28
2. Método volumétrico por impactación.....	29
3. Condiciones de cultivo e incubación.....	29
4. Cepas referencia.....	30
G. Descripción de las áreas de estudio.....	31
1. Laboratorio de Investigación en Productos Naturales (LIPRONAT).....	31
2. Centro de Información y Asesoría Toxicológica (CIAT).....	31

IV.	Justificación.....	32
V.	Objetivos.....	33
A.	General.....	33
B.	Específicos.....	33
VI.	Hipótesis.....	34
VII.	Materiales y métodos.....	35
A.	Selección de las áreas de muestreo.....	35
B.	Selección de la hora de muestreo.....	35
C.	Muestreo ambiental.....	35
1.	Preparación de medios de cultivo.....	36
2.	Medición de temperatura y humedad relativa.....	36
3.	Muestreo periódico por impactación.....	36
D.	Recuento de colonias fúngicas emergentes.....	37
E.	Aislamiento fúngico.....	38
F.	Caracterización e identificación de las colonias aisladas.....	38
G.	Análisis estadístico.....	39
VIII.	Aval de la unidad de investigación.....	40
IX.	Resultados.....	41
X.	Discusión de resultados.....	54
XI.	Conclusiones.....	63
XII.	Recomendaciones.....	64
XIII.	Referencias.....	65
XIV.	Anexos.....	72

I. **Ámbito de la investigación**

La calidad del aire y su influencia en la salud humana ha sido objeto de estudio en varios países, ya que el mismo lleva en el suspendidas varias partículas, orgánicas e inorgánicas, las cuales pueden influir o no en la salud.

La investigación se enfocó al medio ambiente ocupacional con referencia al área de salud, ya que se sabe que el mismo influye sobre la salud humana y determina en gran manera, junto con otros factores (edad, raza, género, sistema inmune, etc.), la calidad de vida de las personas.

En cuanto a la calidad del aire en Guatemala, se ha estudiado ampliamente la composición fisicoquímica del mismo en diversos puntos de la ciudad de Guatemala, así como en la Universidad de San Carlos. En lo que respecta a la composición microbiológica del aire únicamente existe un estudio tanto en la Universidad de San Carlos de Guatemala como en algunos puntos de la ciudad. Por ello se trató de establecer, por medio de muestreos periódicos en horas establecidas previamente, como las de mayor contaminación, la relación entre la contaminación fúngica del ambiente exterior y su influencia sobre la contaminación fúngica en el ambiente interior de dos locales, ubicados en zonas 1 y 12 de la capital, pertenecientes a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos. De dichos muestreos se aislaron e identificaron los hongos que se encontraron en los diferentes ambientes, mediante el cultivo en placa, microscopia directa, además de la caracterización microscópica y macroscópica de los géneros fúngicos de fácil diseminación y alta patogenicidad (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, etc.). Para ello, se tomó en cuenta el estudio realizado por Romero, M. en el año 2006, en el cual los reporta como causantes de enfermedad en humanos, animales, plantas y del biodeterioro. Lo anterior con el objeto de contribuir a establecer la carga fúngica presente en ambos laboratorios, para que sirva de parámetro a los encargados de los laboratorios para la elaboración normas básicas de bioseguridad y así reducir, hasta donde sea posible, el riesgo ocupacional para los trabajadores, docentes y estudiantes expuestos a dichos ambientes.

II. Resumen

En el presente estudio se realizó el muestreo de las áreas ocupacionales y exteriores de dos laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Laboratorio de Investigación en Productos Naturales (LIPRONAT) y Centro de Información y Asesoría Toxicológica (CIAT), el primero ubicado en el edificio T-10 en ciudad universitaria zona 12 y el segundo ubicado en las instalaciones de la antigua Facultad de Farmacia, junto al parque San Sebastián, en zona 1, ambos en la ciudad de Guatemala. Para la selección de la hora de mayor contaminación, se hizo un muestreo intradiurno de seis horas del aire en ambos ambientes de los dos laboratorios. Además se realizó siete muestreos periódicos mensuales. Para los muestreos se utilizó un aeroscopio MAS-100 Eco y agar Dextrosa Saboraud + NaCl al 7.5%, realizándolo en tres puntos por ambiente. Se observó en el CIAT mayor carga fúngica durante la mañana y en LIPRONAT por la tarde.

En el muestreo periódico mensual, los meses con mayor carga fúngica en el LIPRONAT fueron febrero (1681 UFC/m³), abril (1153 UFC/m³), mayo (1691 UFC/m³), junio (1748 UFC/m³) y agosto (1315 UFC/m³). No se encontró diferencia significativa entre el exterior y el interior del LIPRONAT ($p=0.2012$), tampoco entre los puntos de muestreo del laboratorio ($p=0.6229$). Se encontró diferencia estadísticamente significativa ($p=0.0100$) en la carga fúngica entre los meses que duró el muestreo. En el CIAT se encontró que los meses con mayor carga fúngica fueron marzo (608 UFC/m³), mayo (638 UFC/m³) y junio (677 UFC/m³). Se observó diferencia estadísticamente significativa en la contaminación fúngica dispersa por mes ($p=0.008$), no se observó incidencia de los puntos de muestreo ($p=0.3052$) ni del exterior sobre el interior del CIAT ($p=0.9209$). La variable “mes” en ambos laboratorios fue analizada por medio de la prueba de mínima diferencia significativa de Fisher.

Los géneros predominantes, en ambos laboratorios fueron: *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* y en menor proporción, *Monilia* y levaduras. El porcentaje de géneros fúngicos sin determinar fue menor del 5%. La presencia de estos géneros fúngicos en el aire demostró la necesidad de aplicar medidas correctivas en ambos casos con el fin de garantizar la salud del personal que allí labora y del que asiste.

III. Antecedentes

A. Departamento de Guatemala

1. Situación geográfica y meteorológica

Cualquier análisis sobre la calidad del aire en la ciudad capital de Guatemala, debe considerar elementos y factores que influyen en la concentración de contaminantes, entre los que destacan: el relieve, las condiciones meteorológicas predominantes y el régimen de la precipitación pluvial, entre otros.

1.1. Geografía

La posición geográfica de la ciudad de Guatemala y su entorno (15° 30' 0" N, 90° 15' 0" W), permite el predominio de vientos del Noreste en la capa de aire en contacto con la superficie terrestre, conforme se asciende en altitud la dirección del viento se va haciendo del Este hasta una altitud aproximada de 3000 msnm como nivel de transición a vientos del Oeste en la parte superior de la troposfera. Esto se presenta durante la temporada de lluvias (mayo a octubre) y domina en la temporada fría (noviembre de febrero), como parte de los sumideros naturales de la contaminación del aire (1).

1.2. Meteorología

1.2.1. Zonas climáticas: meseta central

La variabilidad de las montañas se observa con elevaciones mayores o iguales a los 1400 metros sobre el nivel del mar, lo que permite la generación de microclimas, El departamento de Guatemala cuenta con regiones densamente pobladas por lo que la acción humana se convierte en factor de variación apreciable. Las lluvias no son tan intensas, los registros más altos se obtienen de mayo a octubre, en los meses restantes estas pueden ser deficitarias, en cuanto a la temperatura en diversos puntos de esta región se registran los valores más bajos de país. En esta región existen climas que varían de Templados y Semifríos con invierno benigno a semicálidos con invierno benigno, de carácter húmedo y semiseco con invierno seco. (2)

La temporada de olas de calor (marzo y abril especialmente) por el contrario se caracteriza por el enturbiamiento de la atmósfera por hidrometeoros como la niebla, neblina y bruma; y por lito

meteoros como la calima y el humo; los niveles de emisión de los contaminantes se incrementan (polvo y humo especialmente) y se produce mayor concentración sobre la ciudad de Guatemala. En esta época del año se conjugan una serie de factores y elementos climáticos, observables también en un cambio del perfil dominante del viento a componente Sur, desde la capa de aire en contacto con la superficie hasta altitudes medias o superiores de la troposfera en que el viento se torna variable y débil (2).

1.2.2. Condiciones meteorológicas predominantes en Guatemala durante el año 2008

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), en 2009 publicó en el Atlas hidrológico, el perfil meteorológico que predominó durante el año 2008. Durante ese año se tuvo una velocidad del viento promedio anual de 9 Km/h, con dirección promedio anual del viento hacia el norte, así como una precipitación pluvial promedio anual de 1691 mm, la cual se observa en la tabla 1. Además se reportó que la época seca abarcó los meses de febrero, con chubascos dispersos, marzo y abril, siendo la época lluviosa los meses de mayo, junio, julio, agosto (canícula), septiembre, terminando el invierno en octubre, chubascos dispersos, noviembre y diciembre (2).

Tabla 1. Acumulados mensuales de lluvia en milímetros y velocidad del viento en kilómetros por hora durante el año 2008 registrados en la estación INSIVUMEH* de la ciudad capital de Guatemala.

Mes**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
PMM	3.3	11.9	3.4	22.4	169.6	460.3	410.6	187.3	354.8	67.4	0.0	0.0	1691.0
Días***	2	1	3	5	10	25	24	22	25	17	0	0	134
Vel.	6.4	8.5	10.3	10.2	8.8	10.0	7.8	8.2	8.4	11.6	ND	ND	9.0
Viento													

Fuente: Datos proporcionados por el INSIVUMEH

* Estación central ubicada en zona 13

** En donde: 1 = Enero; 2 = Febrero; 3 = Marzo; 4 = Abril; 5 = Mayo; 6 = Junio; 7 = Julio; 8 = Agosto; 9 = Septiembre; 10 = Octubre; 11 = Noviembre; 12 = Diciembre; PMM = Precipitación pluvial en milímetros y ND = No hay datos.

*** Los mismos representan los días de lluvia durante el mes

2. Factores socioculturales del departamento de Guatemala

El proceso de centralismo y del crecimiento espacial y poblacional de la Ciudad de Guatemala ha sido ampliamente documentado por diversos autores. Existe coincidencia sobre el aumento en la

escala del desarrollo urbano en los últimos años y los efectos negativos que un crecimiento desordenado produce. Para 2000, el área metropolitana de Guatemala tenía una extensión de entre 22,500 y 35,000 habitantes dependiendo la forma de medición que se utilizara. Y en los últimos años se ha producido más suelo urbano que en los 218 años de ocupación urbana desde la fundación de la ciudad, siguiendo el crecimiento espacial a un ritmo proyectado del 4.4% anual (3). Las estimaciones indican que la mancha urbana de la Ciudad se duplicará para el año 2020 si el ritmo de crecimiento espacial continúa al ritmo actual. Eso quiere decir que el área urbanizada y funcionalmente ligada al área metropolitana comenzaría a partir de aproximadamente el kilómetro 40 en poblados como Ciudad Vieja, Sumpango, Palín y Palencia (4).

En cuanto al ritmo del crecimiento poblacional, éste es muy parecido al de la expansión urbana (4.3% anual), lo cual indica que no se ha producido una redensificación del área metropolitana, sino que las densidades promedio existentes en la ciudad se están manteniendo. Esto quiere decir que la ciudad está desarrollándose de una manera horizontal más que vertical. El crecimiento acelerado de urbanización, muchas veces desordenado, hace que actualmente aumente, para diciembre del 2008, se estima que el parque vehicular en la ciudad de Guatemala fue de 800,000 vehículos, a los cuales año con año se agregan más de 10,000 vehículos (5).

B. Calidad del aire

A nivel mundial, la aerobiología o medición de carga biológica en el aire, ha cobrado importancia, debido a que el aire es considerado un vehículo portador tanto de sustancias orgánicas como inorgánicas. El aire es un componente vital para el ser humano y la calidad del mismo tiene particular incidencia sobre la salud del hombre (6). El término aerobiología, fue acuñado por Meier en el año 1930, y plenamente adoptado para referirse a la disciplina que se ocupa del estudio de los organismos vivos aerotransportados, su diversidad, modos de vida, dependencia y, al mismo tiempo, repercusión en el entorno. Se ha definido la aerobiología como la ecología de la atmósfera. A pesar de que ya en 1873, Blackley realizó estudios en este sentido, no es hasta el siglo XX, en la década de los años 40, que, con la celebración del “Symposium on extramural and intramural aerobiology”, esta disciplina empieza con fuerza (6).

Los bioaerosoles son partículas suspendidas en el aire o compuestos orgánicos volátiles, que están vivos o que proceden de un organismo vivo. En los bioaerosoles se pueden encontrar

microorganismos de todo tipo, cultivables, contables y muertos, así como fragmentos, toxinas y partículas producto de los desechos de todo tipo cuyo origen es la materia viva. El tamaño promedio de estas partículas suspendidas en el aire es variable ya que se encuentran desde 0.5 hasta 30 μm (7). Entre la materia viva que se pueden encontrar en estos bioaerosoles están: bacterias, material fúngico (esporas), algas, protozoos, granos de polen, fragmentos de algas así como de plantas. Se sabe que aproximadamente arriba del 80% del material suspendido en el aire son esporas fúngicas. Los contaminantes biológicos (bioaerosoles) dependen en gran medida de las condiciones de su entorno para la supervivencia y reproducción. Los microorganismos (hongos, virus y bacterias) utilizan el aire como un medio de dispersión. Sin embargo, no existe ninguna prueba concluyente de que los mismos puedan vivir en el aire. Factores tales como la temperatura, la humedad relativa, el movimiento del aire, la luz, las fuentes de alimento y, por descontado, su presencia, van a determinar el grado en que los contaminantes biológicos se encontrarán en un ambiente (8).

Los bioaerosoles, pueden formarse por muchas causas como la lluvia, movimiento del agua en los ríos y mar, mal tratamiento de aguas residuales, aspersores de riego, aire acondicionado o secreciones respiratorias del hombre y de los animales. Los microorganismos también pueden encontrarse en el aire sobre partículas de polvo o en el suelo. En lo que se refiere a su dispersión, estudios han demostrado que la mayoría de los microorganismos soportan un corto desplazamiento de pocos milímetros, algunos resisten largas distancias debido a la hostilidad del hábitat. Se sabe que las esporas fúngicas elevan sus concentraciones conforme a las condiciones ambientales predominantes en cada estación y que las mismas son las responsables de un número elevado de personas diagnosticados con problemas de salud del tipo alérgico, que a la vez pueden derivar en problemas de salud más serios, los que dependerán del género fúngico de las esporas inhaladas. (9).

1. Contaminación del aire

La contaminación del aire es producida por toda sustancia no deseada que ingresa a la atmósfera, en si es una mezcla de partículas sólidas y gases en el aire. Las emisiones de los automóviles, los compuestos químicos de las fábricas, el polvo, el polen y las esporas de moho pueden estar suspendidas como partículas. El ozono, un gas, es un componente fundamental de la contaminación del aire en las ciudades. Cuando el ozono forma la contaminación del aire también

se denomina smog. A pesar de que la contaminación del aire es generalmente un problema peor en las ciudades, los contaminantes afectan el aire en todos lugares. Estas sustancias incluyen varios gases y partículas minúsculas o materia de partículas que pueden ser perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. Algunos contaminantes del aire son tóxicos. Su inhalación puede aumentar las posibilidades de tener problemas de salud. Las personas con enfermedades del corazón o de pulmón, los adultos de más edad y los niños tienen mayor riesgo de tener problemas por la contaminación del aire. La polución del aire no ocurre solamente en el exterior: el aire en el interior de los edificios también puede estar contaminado y afectar su salud (10).

La concentración de microorganismos en las zonas pobladas dependerá de la actividad, agrícola e industrial que desarrolle la misma, así como la presencia de seres vivos y la cantidad de polvo. El tiempo de permanencia de los microorganismos en el aire dependen de la forma, tamaño, peso y de la existencia de potencias aéreas que lo sostengan y eleven. Los obstáculos de dichas corrientes son factores que pueden disminuir la dispersión de los microorganismos, puesto que estos disminuyen la velocidad del viento y la potencia de arrastre de las partículas del suelo (11).

1.1. Tipos de contaminantes

La atmósfera está constituida por varias capas de aire. Las de mayor importancia para el estudio del control de la contaminación del aire se llaman troposfera y estratosfera. La troposfera es la capa delgada de aire relativamente denso más cercana a la superficie de la tierra. La troposfera contiene el aire que todos los seres vivos necesitan para respirar. La estratosfera es la capa protectora de aire que ayuda a absorber y dispersar la energía solar. Los contaminantes del aire se clasifican como contaminantes criterio y no criterio. Actualmente ha cobrado principal atención los contaminantes biológicos, mismos que tienen un gran impacto en la salud humana, sin embargo los mismos se encuentran fuera de la clasificación propuesta por la OMS, anteriormente mencionada (12, 13).

1.1.1. Contaminantes criterio

Los contaminantes “criterio” se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objetos de estudios de evaluación publicados en documentos de criterios de calidad del aire. A nivel

internacional los contaminantes “criterio” son: Óxidos de carbono (COx), óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx), ozono (O₃), plomo (Pb) y material particulado (13).

1.2. Factores contribuyentes a la contaminación atmosférica

- *Naturales*: entre los que se incluyen las condiciones meteorológicas (humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, presión barométrica, etc.), así como la topografía que predomine en un lugar determinado (13).
- *Por acción humana*: en estos encontramos aglutinados a todos aquellos factores derivados de la actividad humana que contribuyen a la contaminación atmosférica. Entre estos se encuentran los procesos agrícolas, por el empleo de aerosoles contaminantes, como herbicidas y pesticidas, vehículos de transporte (carros, aviones, motocicletas, etc.), consumo industrial, entre otros (13).

2. Impacto sobre la salud humana de los contaminantes del aire

2.1. Contaminantes criterio

- 2.1.1. Monóxido de carbono (CO):** es un gas inodoro e incoloro. Cuando se lo inhala, sus moléculas ingresan al torrente sanguíneo, donde inhiben la distribución del oxígeno. En bajas concentraciones produce mareos, jaqueca y fatiga, mientras que en concentraciones mayores puede ser fatal (13).
- 2.1.2. Dióxido de carbono (CO₂):** se origina a partir de la combustión de carbón, petróleo y gas natural. La inhalación es tóxica si se encuentra en altas concentraciones, pudiendo causar incremento del ritmo respiratorio, desvanecimiento e incluso la muerte (13).
- 2.1.3. Contaminantes atmosféricos peligrosos (HAP):** son compuestos químicos que afectan la salud y el medio ambiente (13).
- 2.1.4. Plomo (Pb):** es un metal de alta toxicidad que ocasiona una diversidad de trastornos, especialmente en niños pequeños. Puede afectar el sistema nervioso y causar problemas digestivos (13).

2.1.5. Ozono (O₃): el ozono, a nivel del suelo, produce irritación del tracto respiratorio, dolor en el pecho, tos persistente, incapacidad de respirar profundamente y un aumento de la propensión a contraer infecciones pulmonares (13).

2.1.6. Óxido nítrico (NO₃): proviene de la combustión de la gasolina, el carbón y otros combustibles. Es uno de las principales causas del smog y la lluvia ácida (13).

2.2. Partículas en suspensión

En esta categoría se incluye todo tipo de materia sólida en suspensión en forma de humo, polvo y vapores. Las partículas de la atmósfera provienen de diversos orígenes, entre los cuales podemos mencionar la combustión de diesel en camiones y autobuses, los combustibles fósiles, la mezcla y aplicación de fertilizantes y agroquímicos, la construcción de caminos, la fabricación de acero, la actividad minera, la quema de rastrojos y malezas y las chimeneas de hogar y estufas a leña (13).

2.2.1. Compuestos orgánicos volátiles (VOC)

Son sustancias químicas orgánicas. Todos los compuestos orgánicos contienen carbono y constituyen los componentes básicos de la materia viviente y de todo derivado de la misma. Muchos de los compuestos orgánicos que utilizamos no se hallan en la naturaleza, sino que se obtienen sintéticamente. Los VOC incluyen la gasolina, compuestos industriales como el benceno, solventes como el tolueno, xileno y percloroetileno. Muchos compuestos orgánicos volátiles son peligrosos contaminantes del aire. Por ejemplo, el benceno tiene efectos cancerígenos (13).

2.3. Contaminantes biológicos

Este grupo aglutina a virus, bacterias, hongos y protozoos. De los anteriores, por su impacto en la salud humana, así como por su gran habilidad para la dispersión en los ambientes, destacan los hongos, sin embargo, existen algunos estudios que se centran en la contaminación microbiológica del aire, más allá de los hongos (13).

2.3.1. Hongos

La exposición a contaminantes ambientales, incluso a concentraciones por debajo de los niveles permitidos, se han correlacionado al incremento en patologías respiratorias en las personas expuestas, teniendo incluso incidencia en detrimento de la función respiratoria de los mismos.

Entre los factores propios del huésped, están aquellas condiciones debilitantes del sistema inmune, el consumo masivo de fármacos inmunosupresores, en el caso de trasplantados, así como la pandemia del VIH, han propiciado una mayor incidencia de infecciones fúngicas sistémicas o profundas. Al ser los hongos microorganismos cosmopolitas, se pueden encontrar dispersos tanto en ambientes cerrados o interiores como abiertos o exteriores, lo que facilita el contacto constante por parte de las personas con dichos microorganismos contaminantes. Así pues algunos estudios han determinado que los hongos presentes en el exterior serán los mismos que se encuentren en el interior ya que estos tienen la capacidad de acceder transportados tanto por aire (sistemas de ventilación) como por personas, a través de puertas, ropa, zapatos, etc. Entre las enfermedades comúnmente producidas por hongos en el ambiente interior se encuentran, la rinitis alérgica y el asma bronquial. En cambio todas las reacciones alérgicas estacionales son causadas por hongos que se encuentran en el exterior, mismos que se encuentran condicionados a la estación predominante en la época (14).

Los géneros fúngicos asociados a la producción de efectos alérgenos, por inhalación de esporas, en los humanos son: *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Alternaria* (15), sin embargo se sabe que más géneros fúngicos están asociados a procesos alérgicos en humanos (16) y que el desencadenante de dichas reacciones son por la inhalación de esporas fúngicas (17).

2.3.1.1. Efectos sobre la salud y patogenicidad según el género

2.3.1.1.1. *Alternaria*

Este género fúngico es extremadamente común, se le puede encontrar en abonos, plantas, pulpa de madera y en madera podrida, pero también se encuentra en alimentos, tejidos y en el suelo. A este género se le encuentra comúnmente en espacios abiertos, aunque también puede localizarse en viviendas, en el aire, polvo y lugares húmedos, como en ventanas, en donde se produce condensación. Si bien se sabe que en estudios de calidad ambiental y de aire interior las esporas de este género son menos abundantes, en comparación con las esporas de *Cladosporium*, las más abundantes, se conoce que *Alternaria* posee un poder alérgico elevado. De hecho, la sensibilización a alérgenos fúngicos y la exposición a esporas se han asociado con episodios severos de asma y parece existir una mayor mortalidad en aquellos pacientes con sensibilización a *Alternaria alternata*. Los conidios se aíslan con frecuencia del aire libre durante el tiempo caluroso

(alcanzando el pico de máxima concentración en los últimos días de verano). El rango de temperatura de crecimiento varía entre 2 y 32 °C, con temperaturas óptimas entre 25 y 28 °C (19).

La alergia al hongo *Alternaria alternata* es una causa común de asma según diferentes estudios epidemiológicos. Se estima que un 70% de los pacientes alérgicos a antígenos fúngicos tiene pruebas cutáneas positivas con *Alternaria alternata*. La alergia a *Alternaria* se presenta clínicamente como reacciones asmáticas de tipo inmediato mediadas por IgE. El asma del panadero se considera conectada con la inhalación de conidios de *Alternaria* presentes en la harina, de igual manera en el caso del pulmón del trabajador de la pulpa de madera. Se han descrito algunos casos de alergia mediada por IgG (pulmón de granjero) en niños que vivían en granjas (19).

2.3.1.1.2. *Aspergillus*

Es un hongo filamentoso, de distribución universal, ampliamente diseminado en el ambiente. Se reproduce con facilidad a temperaturas altas y está presente en el suelo, aire, agua, plantas y materia orgánica en descomposición. Los conidios se diseminan por el aire y al ser inhalados, afectan primariamente a los senos paranasales y los pulmones en donde se asienta la enfermedad con mayor frecuencia. También pueden invadir el oído externo y la piel traumatizada. En personas inmunocompetentes pueden actuar como un potente alérgeno o colonizar bronquios o cavidades preexistentes, donde luego se desarrollan. En personas inmunocomprometidas la enfermedad suele ser invasiva, diseminada, grave y muchas veces fatal. Se reconocen unas 180 especies diferentes de las cuales 33 se han asociado con enfermedad en el hombre; entre ellas: *A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. niger*, *A. terreus*, *A. nidulans*.

La ubicuidad de los *Aspergillus* es debida a su capacidad para crecer a diferentes temperaturas sobre substratos con diverso contenido de humedad. La colonización de los granos durante el almacenamiento, por *Aspergillus* y otros mohos, se produce de forma explosiva cuando la humedad relativa ambiente intergranular se eleva por sobre el 70%, sin que se desencadene aún el fenómeno de esporulación (19). El rango de temperatura para el crecimiento va desde 0-5°C para *A. glaucus* hasta 50-55°C para *A. fumigatus*, estando el óptimo entre 30-33°C para la mayoría de las especies (19).

2.3.1.1.3. *Cladosporium*

Es un hongo filamentoso de distribución cosmopolita, siendo uno de los más aislados y abundantes en los recuentos aerobiológicos de todo el mundo. Los conidios se encuentran frecuentemente en ambientes exteriores en las zonas templadas del planeta. Este produce abundantes conidios que pueden encontrarse en la atmósfera a lo largo del año, con mayores concentraciones en las últimas semanas del verano, en especial en zonas boscosas y en centro de las ciudades. Coloniza frecuentemente hojas y plantas, gramíneas, suelo y alimentos. Cuando se siega el césped o se podan los arboles aumentan considerablemente la concentración de conidios aerotransportados a largas distancias. La concentración de conidios (UFC/m³) son hasta diez veces las del polen, llegándose a contar 3500 UFC/m³. La temperatura óptima para su crecimiento es del 18-28 °C, pero pueden desarrollarse a temperaturas tan bajas como -6°C. Su ubicuidad hace que se haya aislado en lugares tan diversos como depósitos de combustible, cremas faciales, pinturas o ropa. Es ampliamente citado como productor de asma y esporosis (junto con *Alternaria*), e incluso algunas de sus especies actúan como oportunistas y son capaces de intervenir en ciertos procesos micóticos pulmonares, atacar la piel, producir cromoblastomicosis (en climas cálidos) y lesiones neurotrópicas. Aunque el mayor interés por estos hongos, desde el punto de vista sanitario, viene dado por la capacidad alergógena de sus conidios, que pueden alcanzar en la atmósfera, tanto en interiores como en exteriores de edificaciones, concentraciones muy altas (19).

2.3.1.1.4. *Penicillium*

Hongo filamentoso que presenta conidióforos tabicados de pared lisa y ramificados en sus extremos, con métulas compactas y fiálides en forma de botella de donde nacen los conidios lisos o ligeramente verrucosos, elipsoidales formando cadenas, sin ramificar, con un aspecto característico de penacho o pincel. Está ampliamente distribuido en la naturaleza y sus esporas se encuentran frecuentemente en el polvo doméstico. Se encuentra con frecuencia en los edificios húmedos y mohosos donde deteriora diferentes materiales de construcción, entre los que resaltan el papel de decoración (crece bien en la cola empleada para su adhesión a las paredes). No muestra una notable variación estacional. Las máximas concentraciones de conidios en el aire se alcanzan en invierno y primavera (mayores en las áreas urbanas que en las rurales). Su temperatura óptima de crecimiento es de 23 °C, pero crece entre 5 y 37 °C.

Entre las especies patógenas se encuentran *P. chrysogenum*, *P. brevicompactum*, *P. glabrum* (este no crece a 37°C). Según la especie, puede encontrarse colonizando las vías respiratorias de pacientes con alergias respiratorias y producir reactividad cutánea. Se han descrito casos de otomicosis, endoftalmitis, queratitis, infecciones cutáneas, esofagitis, neumonías necrotizantes o infecciones diseminadas en pacientes con neoplasias o inmunodepresión. Se han descrito algunos casos de alveolitis alérgica por *Penicillium glabrum* (suberosis) entre el personal de fábricas de corcho, también puede producir citromicetina, una toxina que provoca daño hepático (19).

2.3.1.1.5. Otras especies

Las especies de *Fusarium* son predominantes en estudios aerobiológicos en prácticamente todo el mundo. Se distribuyen en numerosas plantas y están presentes en diferentes tipos de suelo. Este género tiene mayor esporulación en climas cálidos y húmedos, no así en los meses fríos y secos en donde sobreviven en suelos y restos de plantas (19).

Diferentes especies de *Fusarium* son productoras de micotoxinas como fumonisina, zearalenona (toxina F2), desoxinivalenol (vomitoxina), nivalenol, y toxinas HT2 y T2. También se han asociado a diferentes alergias como asma, enfermedad broncoalveolar alérgica, rinitis perenne, entre otras en niños y de carácter profesional en recolectores de fresas y otros agricultores. Cerca de un 15% de los niños con rinitis perenne reacciona ante la provocación nasal con *Fusarium*. La reactividad cutánea a *Fusarium culmorum* se ha observado en pacientes con asma. El género *Monilia*, se ha asociado con infecciones vaginales y en algunos casos con infecciones del tracto respiratorio ya que este coloniza mucosas, produciendo así reacciones alérgicas (19).

2.4. Síndrome del edificio enfermo

El síndrome del edificio enfermo ocurre cuando hay varias personas afectadas, pero no se encuentra ninguna fuente específica de la enfermedad. Generalmente, los problemas con la calidad del aire en los interiores solamente causan molestias y la mayoría de las personas se siente mejor tan pronto como se elimina la fuente de contaminación. Sin embargo, algunos contaminantes pueden causar cuadros que se presentan mucho más tarde, como enfermedades respiratorias o cáncer. Asegurarse de que su edificio está bien ventilado y eliminar los contaminantes puede mejorar la calidad del aire en los interiores (20).

C. Géneros fúngicos más frecuentes

1. Ambientes interiores

En lo que se refiere al ambiente interior, la cantidad y el tipo de esporas encontradas dependerán de la entrada de aire exterior, así como la presencia de condiciones favorables para la colonización y liberación de esporas a nivel interno. Se ha encontrado que el tipo de esporas encontradas en el interior será similar a las que predominen en el exterior, con la condicionante de que serán en menor concentración. Sin embargo, el tipo y concentración de esporas dependerá de factores como, humedad relativa, temperatura, localización geográfica y la cercanía de posibles fuentes de contaminación fúngica (21). Los géneros fúngicos predominantes en el ambiente interior serán pertenecientes a los deuteromicetos, hongos imperfectos, entre los que se encuentran, *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Penicillium*, los cuales son considerados como agentes biodeteriorantes (21, 22).

En 1991, Pasanen *et al.* determinó que los géneros fúngicos predominantes en verano fueron *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus*, no así en invierno en donde el que más predominó fue *Penicillium*, seguido de *Cladosporium* y *Aspergillus*. En cuanto a los hallazgos que obtuvieron en residencias consideradas como húmedas encontraron que *Cladosporium* predominó sobre *Penicillium* y *Aspergillus* (23).

En 1994, Kuo y Li, al analizar ambientes interiores y exteriores, para establecer que género fúngico prevalecía en las diferentes estaciones climáticas de Taiwán, encontraron que en ambos ambientes, *Penicillium* (70%) prevaleció durante el año, seguido de levaduras (60%), *Aspergillus* (30%) y *Cladosporium* (24%). Al analizar las estaciones climáticas observaron que *Penicillium* predominó durante el año. En cuanto a *Cladosporium* y *Aspergillus* se observaron mayormente durante el verano. En este estudio se correlacionó la incidencia de estos tres géneros con respecto a las patologías alérgicas reportadas en los centros asistenciales, en donde concluyeron que las mismas tenían pruebas positivas para los géneros antes mencionados (24).

En 1998, Sánchez *et al.* indicó, al realizar un estudio de contaminación microbiana en archivos y almacenes soterrados, que el género *Aspergillus* era el de mayor frecuencia, seguido de *Penicillium* y *Cladosporium* (25).

En 1997 y 1998, Rosas *et al* y García *et al*. encontró en diferentes estudios, que *Aspergillus niger* prevalecía como el más frecuente tanto en ambientes interiores como exteriores. (26, 27). En 2002, Rojas *et al*. reportó, después de realizar un estudio en varios locales de la Universidad de la Habana, que los géneros predominantes en ambiente interior fueron *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium* (28). Diversos autores han indicado que la variabilidad en el predominio de uno u otro género fúngico se debe a factores ambientales propios de cada lugar, sin embargo varios estudios coinciden en que los géneros predominantes son *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus* (29).

1.1. Factores que contribuyen a la contaminación fúngica del aire interior

El desarrollo fúngico está influenciado por factores físicos como temperatura, humedad y luz, pero principalmente por la cantidad de agua disponible que existe para ese hongo. En países tropicales influyen de manera elevada la alta humedad y la temperatura (30).

1.1.1. Actividad del agua

Los microorganismos necesitan la presencia de agua, en una forma disponible, para crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas. La mejor forma de medir la disponibilidad de agua es mediante la actividad de agua (A_w). El crecimiento de hongos micotoxigénicos se produce con valores de A_w cercanos a 0,78. La actividad del agua está regulada y tiene relación con diversos factores como por ejemplo, la humedad relativa, la presión atmosférica y la temperatura (31).

1.1.2. Ventilación

La mayoría de edificios, ya sea industriales, comerciales y de oficinas, poseen sistemas de ventilación mecánica, el cual puede ser filtrado, calentado, enfriado o incluso humidificado. Los sistemas de ventilación, inciden directamente en la dispersión o deposición de esporas, además modifican la humedad relativa, así como la temperatura superficial. Los sistemas de ventilación poseen dos funciones primordiales, suministrar aire fresco en cantidad y calidad suficientes para mantener la calidad del aire en los espacios interiores, y modificar las condiciones termohigrométricas del aire exterior que se introduce en un edificio para conseguir un clima confortable en el interior (32).

Se sabe que ambientes mal ventilados, favorecen la deposición de esporas fúngicas, coadyuvando a la germinación de las mismas. Los sistemas de ventilación mecánica, deben de estar acompañados de deshumificadores, ya que solo el sistema no es eficaz para evitar o reducir la germinación de esporas en los ambientes interiores (32).

1.1.3. Humedad relativa y temperatura

De todas las condiciones, la humedad del sustrato es la más importante. Cuando los materiales son saturados o mojados existe una gran oportunidad para la germinación y crecimiento de hongos. Incluso en ambientes que no han sido inundados las esporas de los hongos pueden germinar y crecer cuando la humedad alcanza el 75%. En condiciones mínimas para su desarrollo puede necesitar de ambientes con humedad relativa mayor al 60%. En cuanto al rango de temperaturas, a nivel fúngico este varía dependiendo del género, pero, sin importar el género, el desarrollo fúngico puede darse a temperaturas de 20 a 27 °C (33).

En 2004, Horner, W. *et al.* en un análisis del aire y el polvo en búsqueda de esporas fúngicas encontraron una relación directa con la abundancia y la humedad relativa (34). En 1992, Nevalainen *et al.* encontró que la carga fúngica suspendida en aire, esporas, disminuye en dependencia de las condiciones de humedad y temperatura del ambiente, con lo que se comprobó que no existe esporulación continua (35).

1.1.4. Polvo

El polvo contiene partículas microscópicas de polen, moho, fibras de la ropa y telas, detergentes e insectos microscópicos, en su mayoría, ácaros (36). En el año 1991, Leytán aisló *Histoplasma capsulatum*, agente causal de histoplasmosis, en la avenida Reforma de la ciudad capital de Guatemala, donde obtuvo altos índices de contaminación por este género en el suelo, también demostró con esto que la exposición al polvo que puede ser levantado por el aire del suelo puede ser un factor de infección fúngica (37).

1.2. Principales fuentes de contaminación en ambientes interiores

- **Aire exterior:** este transporta granos de polen, bacterias y hongos tanto sus formas vegetativas como sus formas resistentes (esporas), la mayoría son inocuos para el hombre pero algunos de ellos pueden ser patógenos (38).
- **Sistemas de climatización o ventilación:** en especial aquellos que cuentan con materiales porosos, en donde puede haber deposición de esporas, así como los que poseen deshumificadores, especialmente en los que el agua es reciclada, ya que pueden convertirse en reservorios para que se desarrollen microorganismos. En estos es importante que haya mantenimiento continuo y adecuado por parte del proveedor (38).
- **Personal:** el aire recoge la contaminación producida en los diferentes focos, uno de los más importantes son las personas que ocupan el edificio, estas personas pueden ser portadores sintomáticos o asintomáticos de agentes biológicos (38).

2. Ambientes exteriores

La concentración fúngica en estos ambientes, varía en dependencia de las condiciones climatológicas presentes durante el día, así como la estación del año en la que se encuentre y la presencia de focos de desarrollo fúngico (39).

Los ambientes exteriores cuentan con microclimas, que influyen en el ecosistema presente en estos ambientes, esto hace que junto con la actividad humana, el desarrollo de ciertos géneros fúngicos y la consecuente formación de esporas y dispersión de las mismas varíe de un lugar a otro. Se observa por tanto diferencias en cuanto a concentración y género fúngico contrastante en áreas urbanas con respecto a zonas rurales. Diversos estudios demostraron que el género predominante en ambientes exteriores es *Penicillium*, también se ha encontrado, en menor proporción a *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Alternaria*. Otros estudios han demostrado que *Cladosporium* es el género fúngico más abundante en el aire. En regiones cálidas o tropicales predomina *Alternaria*, la concentración de esporas suspendidas en aire de este género es de 50 esporas/m³ (40).

D. Calidad del aire en Guatemala

1. Estudios previos

El monitoreo de la calidad del aire es una importante herramienta para las autoridades ambientales en su labor de protección de la calidad del medio ambiente, la red de monitoreo ha estado a cargo de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con 7 puestos de control que han funcionado en diferentes períodos de registro en: Avenida de Petapa, zona 12 (alto flujo vehicular), Museo de la Universidad de San Carlos, zona 1 (bajo flujo vehicular), Trebol/INCAP, zona 7 (alto flujo vehicular), Calzada San Juan, zona 7 (alto flujo vehicular), Calzada Aguilar Batres, zona 12 (alto flujo vehicular), Universidad de San Carlos, zona 12 (bajo flujo vehicular), INSIVUMEH, zona 13 (bajo flujo vehicular) (41).

En el 2006, Oliva, P. llevó a cabo un estudio sobre la calidad del aire exterior en Guatemala. Se basó en pruebas fisicoquímicas en diferentes puntos de la ciudad de Guatemala, obteniendo altos índices de contaminación química. Además algunas industrias (alimentos, farmacéuticas, químicas, etc.) y hospitales en Guatemala realizan algunos análisis rutinarios de densidad microbiológica con fines de calidad del aire por medio de muestreos ambientales en los locales o salas que deben permanecer con cierto grado de esterilidad o con esterilidad completa como son salas de operaciones e intensivo (42).

En 2007, el Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR), realizó un estudio sobre la calidad aerobiológica de locales ocupacionales y áreas exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el cual fue el punto de partida para que se planteara la necesidad de realizar estudios más minuciosos y discriminativos sobre la calidad del aire en áreas ocupacionales. El estudio reveló los puntos críticos y las horas de mayor contaminación a la que se encuentran expuestos el personal que labora en dicha facultad, así como que los géneros más frecuentes colectados en las áreas de muestreo fueron *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Penicillium* (43).

2. Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Proyecto FODECYT 40-2007

En 2008, Herrera, K. *et al.* realizó un estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Con el objetivo de establecer las condiciones de infraestructura, población estable, tránsito de cada local y condiciones higiénico sanitarias, se diseñaron dos cuestionarios por el Laboratorio Microbiológico de Referencia -LAMIR-, siendo entregados para contestar a los encargados de LIPRONAT y CIAT así como a los encargados del personal de limpieza en ambos laboratorios (44).

En los cuestionarios sobre la calidad aerobiológica del ambiente ocupacional para la selección de áreas o locales que se realizó al encargado cada laboratorio, se observó (tabla 2) que el personal estable en CIAT es de nueve personas, el tránsito de personal es moderado, las dimensiones del laboratorio son de 508 m², además el material predominante en el mobiliario es metal, madera y en algunos casos ladrillo. El CIAT cuenta con equipo de laboratorio, cocina y de oficina. Se tiene un encargado de la limpieza. También se observó deterioro de paredes y techos, así como de que no existen manuales de limpieza y desinfección, sin embargo, sí se cuenta con un manual de bioseguridad. En cuanto a la ventilación, existen ventanas lisas y ventiladores. En lo que se refiere a la infraestructura, se observó que las puertas son de madera, piso de cemento, techo de lámina y paredes de ladrillo.

En el LIPRONAT (tabla 2), se encontró que el personal estable es de cuatro personas. El tránsito de personas en el laboratorio es abundante. El laboratorio posee dimensiones de 100 m² y que tienen mobiliario de diferente tipo de material, en él predomina metal, madera y madera forrada con formica, además se cuenta con equipo de oficina y laboratorio. El laboratorio cuenta con un encargado de la limpieza. La limpieza se realiza una vez a la semana. Se observó la presencia de polvo en las superficies, la ausencia de manuales o PEOs de desinfección y limpieza, así como la carencia de un manual de bioseguridad. En cuanto a la ventilación el laboratorio cuenta con ventanas lisas y ventiladores. Las puertas son de metal, piso de granito, techo de loza y paredes de block (44).

Tabla 2. Resultados del cuestionario sobre la calidad aerobiológica del ambiente ocupacional para la selección de áreas o locales realizado al encargado cada laboratorio, obtenidos por el Proyecto FODECYT 40-2007.

Pregunta	CIAT	LIPRONAT
No. de personal estable	9	4
Tránsito de personal dentro del local	Moderado	Abundante
Características del local		
Dimensiones	508 m ²	100 m ²
Mobiliario y equipo		
Estantes	Metal y madera	Metal
Gabinetes	Madera	No hay
Escritorios	Metal y madera	Metal
Mesas	Madera	Madera con formica
Equipo de laboratorio	Si	Si
Equipo de oficina	Si	Si
Equipo de cocina	Si	No
Mesetas	Ladrillo	Formica y Ladrillo
Archivos	Metal	Metal
Condiciones higiénico-sanitarias		
Periodicidad de limpieza del local	Diaria	Semanal
Hay asignado en su área un encargado de limpieza	Si	Si
Polvo notable sobre las superficies de trabajo y equipos	No	Si
Deterioro de paredes	Si	No
Deterioro de techos	Si	No
Deterioro de mobiliario	No	No
Se cuenta con algún PEO o manual de limpieza	No	No
Se cuenta con algún PEO o Manual de Desinfección	No	No
Se cuenta con algún PEO o Manual de Bioseguridad	Si	No
Tipo de ventilación		
Ventanas	Lisas	Lisas
Ventilador	Si	Si
Infraestructura		
Puerta	Madera	Metal
Piso	Cemento	Granito
Techo	Lamina	Loza
Paredes	Ladrillo	Block

Fuente: Herrera, K. *et al.* Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala. FODECYT. 2008

Con relación a los resultados del cuestionario sobre la calidad aerobiológica de limpieza y desinfección del área ocupacional realizado al encargado de limpieza de CIAT y LIPRONAT (tabla 3); en el CIAT, se observó que el encargado de limpieza recibió inducción para realizar la limpieza, así como para el proceso de desinfección, también se manifestó que no existía ningún POE o algún manual para limpieza o desinfección, además de desconocer los posibles riesgos asociados al trabajo en ese local, así como que, a pesar de conocer sobre bioseguridad y tener normativas de bioseguridad, el empleado no toma medidas de bioseguridad al realizar su trabajo. En cuanto al tipo de limpieza que realiza barren con escoba, trapean utilizando desinfectante comercial y sanolin además de realizar la limpieza del mobiliario con desinfectante comercial, alcohol y desempolvar con trapo. En el caso del LIPRONAT se observa que existe un encargado de la limpieza, que el mismo no conoce de ninguna medida de bioseguridad y no cuenta con manuales de desinfección y limpieza además no ha recibido ninguna inducción para realizar su trabajo, también se puede ver que el encargado de la limpieza no sabe el posible riesgo al que se expone en su trabajo por lo que no toma ninguna medida de protección a la hora de hacer limpieza. En lo que respecta al tipo de limpieza que se realiza, manifiesta que barren con escoba y mopa, que trapean con desinfectante comercial y que se limpia el mobiliario solo con desinfectante comercial además de desempolvar con trapo (44).

Tabla 3. Resultados del cuestionario sobre la calidad aerobiológica de limpieza y desinfección del área ocupacional realizado al encargado de limpieza de CIAT Y LIPRONAT, , obtenidos por el Proyecto FODECYT 40-2007.

Pregunta	CIAT	LIPRONAT
Condiciones de limpieza y bioseguridad		
Recibió inducción para realizar la limpieza del local	Si	No
Recibió inducción para realizar el proceso de desinfección del local	Si	No
Cuenta con un manual o procedimiento de limpieza o desinfección	No	No
<i>Si la respuesta es afirmativa usa el manual para la limpieza y desinfección del local</i>	NA	NA
Conoce el grado de riesgo del trabajo que se realiza en el lugar que limpia	No	No
Toma precauciones de acuerdo al riesgo al que puede estar expuesto	No	No
Conoce que son medidas de Bioseguridad	Si	No
Sigue algunas medidas de Bioseguridad	No	No
Le han proporcionado algún normativo de Bioseguridad	Si	No
Tipo de limpieza que realiza		
Barre	Si	Si
<i>Si su respuesta fue afirmativa indique material utilizado</i>	Escoba	Escoba y mopa
Trapea	Si	Si
<i>Si su respuesta fue afirmativa indique material utilizado</i>	Desinfectante y sanolin	Desinfectante
Limpieza de mobiliario	Si	Si
<i>Si su respuesta fue afirmativa indique material utilizado</i>	Desinfectante y alcohol	Desinfectante
Desempolva	Si	Si
<i>Si su respuesta fue afirmativa indique material utilizado</i>	Trapo	Trapo
Tipo de desinfección que realiza		
Desinfecta	Si	Si
<i>Si su respuesta fue afirmativa indique material utilizado</i>	Desinfectante	Desinfectante

Fuente: Herrera, K. *et al.* Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala. FODECYT. 2008

Nota: los resultados obtenidos en parte del estudio anterior sirvieron de base para que se diera el presente estudio de forma paralela, enfocándose únicamente en dos locales, CIAT y LIPRONAT.

3. Legislación existente sobre calidad del aire en Guatemala

La legislación del medio ambiente se encuentra a cargo del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales –MARN-, con el apoyo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), Ministerio de Educación (MINIEDUC), Universidad de San Carlos de Guatemala, organizaciones no gubernamentales y otras organizaciones. Actualmente no existe algún criterio que regule la calidad aeromicológica en Guatemala, sin embargo, algunas recomendaciones han sido publicadas en países de clima subártico, y en general de clima frío (45).

E. Calidad del aire a nivel internacional

En 1965, el Consejo Directivo de la OPS recomendó establecer programas de investigación sobre contaminación del agua y aire, así como colaborar con los Países Miembros en el desarrollo de políticas adecuadas de control. Durante la década de los noventa, la OMS organizó el Sistema de Información sobre la Gestión de la Calidad del Aire (AMIS por sus siglas en inglés) que tiene presencia en el nivel mundial (46).

En 1997, el programa GEMS se incorporó al AMIS. Actualmente, el AMIS brinda la información global requerida para el manejo racional de la calidad del aire que incluye el monitoreo de la concentración de contaminantes del aire, desarrollo de instrumentos para elaborar inventarios de emisiones y modelos de calidad del aire, estimación de los efectos sobre la salud pública a través de estudios epidemiológicos y la propuesta de planes de acción detallados para mejorar la calidad del aire. Según la OPS, actualmente, existen dos programas regionales para el mejoramiento de la calidad del aire en América Latina: la iniciativa de aire limpio para ciudades de América Latina del Banco Mundial y el programa aire puro en Centroamérica, cuyo objetivo es el mejoramiento de la calidad del aire urbano en Guatemala, Honduras, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador y Panamá (46).

1. Niveles de esporas fúngicas en el aire

En 1993, Wanner. *et al.* en su estudio “Biological Particles in Indoor Environments. Indoor Air Quality and Its Impact On Man” publicado por la Organización Mundial de la Salud estableció la siguiente tabla de criterios para concentración de esporas fúngicas suspendidas en el aire (47):

Tabla 4. Criterios de contaminación fúngica en UFC/m³ en ambientes interiores.

Categoría de contaminación	UFC/m ³ de aire
Muy baja	<25
Baja	25 - 100
Intermedia	100 - 500
Alta	500 - 2000
Muy alta	>2000

Fuente: Wanner, H. *et al. Biological Particles in Indoor Environments. Indoor Air Quality and Its Impact On Man. OMS. 1993.*

En 1990, Reynolds *et al.* advirtió que concentraciones mayores de 500 UFC/m³ de esporas fúngicas suspendidas en aire del ambiente interior se consideran como anormales (48). En 1995, Reponen *et al.* señaló que concentraciones elevadas de esporas fúngicas en el ambiente interior puede ser consecuencia de una inadecuada ventilación de los locales estudiados. (49). En 1992, Reponen *et al.* Indicó que en climas fríos se debe tomar como normal que se encuentren hasta 500 UFC/m³ de esporas fúngicas suspendidas en aire. Entre las conclusiones de este estudio se plasmó que esta concentración, en invierno, podría ser aplicable al aire del ambiente interior de locales con climatizadores o sistemas de ventilación después de encontrar que no existían diferencias entre ambos ambientes (50). En 2000, Klanova señaló que concentraciones de esporas fúngicas suspendidas en aire interior mayores a 2000 UFC/m³ deben de ser considerada como un factor que incide en la salud de los ocupantes del local, lo anterior debido a la presencia de alérgenos producidos por los hongos (51). En 2004, Eagle industrial Hygiene Associates recomienda que la concentración de esporas fúngicas suspendidas en aire interior no debe de exceder las 1000 UFC/m³, con el fin de evitar afecciones de salud (52).

F. Métodos de evaluación de la calidad del aire interior y exterior

1. Muestreo ambiental

Para realizar un muestreo de aire ambiental correcto, se debe de coleccionar un volumen conocido de aire, el cual debe de ser representativo, puesto que será necesario en la muestra cuantificar e identificar bioaerosoles, los cuales pueden influir en la salud humana. La metodología para coleccionar y analizar los diferentes tipos de microorganismos suspendidos en aire es variable, actualmente existen guías, pero no existen protocolos o normativas estandarizadas. En cuanto a la caracterización e identificación de esporas suspendidas en aire, actualmente, no existe un

estándar infalible, por lo que se utilizan medios de cultivo, como Saboraud, PDA, Czapek para realizar la caracterización macro y microscópica de los géneros fúngicos colectados en muestreos de aire (53).

2. Método volumétrico por impactación

Para la aplicación de esta metodología es necesario contar con un biocolector, este funciona aspirando un volumen de aire, previamente establecido, obligando a la deposición de las partículas suspendidas en el aire en un medio sólido o semisólido. Como superficie de colecta se utiliza generalmente un medio de cultivo, aunque también pueden ser utilizados caldos enriquecidos o medios líquidos. La selección del biocolector dependerá del tipo de muestreo, tiempo de ejecución, queda a cargo del investigador seleccionar un biocolector que se adapte a los objetivos del estudio. Actualmente se cuentan con diversos tipos de biocolectores, están el impactador por hendidura o rendija, tipo Burkard, cuenta únicamente con una sola entrada rectangular de aire, el tipo criba, emplea varios orificios para la colección de aire, el de tipo cascada, que cuenta con varias etapas con orificios sucesivos pequeños. (54)

3. Condiciones de cultivo e incubación

La gran mayoría de los métodos utilizados para el muestreo de aire, se valen de medios de cultivo para la cuantificación y caracterización de los microorganismos. Cuando la colecta de microorganismos se da directamente en placas de agar, estas se deben llevar a incubación, en el caso de que se haga una colecta de aire en medios líquidos, la muestra debe de ser transferida a un medio de cultivo semisólido para su posterior incubación. Únicamente se toman en cuenta aquellas colonias capaces de crecer en las condiciones de incubación del cultivo, las cuales serán visibles en el medio seleccionado (54). La elección del medio de cultivo adecuado dependerá del tipo de microorganismos que se desee recuperar del ambiente, por ejemplo, si se desea recuperar hongos, se utilizaran medios de cultivo especiales para hongos (Saboraud, Czapek, PDA, etc.), si se desean recuperar bacterias, se utilizaran medios selectivos, en dependencia del microorganismo deseado. Cabe mencionar que no se recomienda utilizar un mismo medio para la colección de bacterias y hongos ya que los requerimientos de nutrientes y temperatura de incubación varían entre clases y géneros (54). Las condiciones para el desarrollo adecuado de los hongos a colectar deben de ser las adecuadas, es decir, la temperatura de incubación (30 -37°C para *Aspergillus* y de

19-22°C para *Penicillium*), la humedad y pH del medio, luz, aeración y la disponibilidad de nutrientes en condiciones óptimas determinaran si existe o no un crecimiento fúngico en el cultivo. En 2002, Rojas y Martínez indican que el Agar Extracto de Malta (AEM) y el Agar Papa Dextrosa (PDA) con NaCl al 7.5% son los medios más adecuados para colecta de microorganismos en ambiente interior, sin embargo también determinaron que para evaluación de bioaerosoles patógenos los más indicados son AEM y Saboraud Dextrosa (55).

4. Cepas referencia

En los estudios de calidad microbiológica del aire, además de contar con pruebas para identificación microbiológica, se debe de contar con cepas referencia o alguna otra metodología de caracterización de cepas. Las cepas de referencia se utilizaran para la validación del método aplicado, así como para la evaluación de medios de cultivo y aparatos, por lo que es importante que las mismas cuenten con propiedades físicas, químicas bien conocidas para su uso. La elección de género y especie para las cepas de referencia irán en dependencia del tipo de ensayo y la trazabilidad del método que se emplee en la investigación. Las cepas de referencia deberán cumplir con los estándares de calidad y generalmente se hacen acompañar de certificados que permiten establecer su trazabilidad a una realización exacta de la unidad en la cual se expresan los valores de dichas propiedades, para el cual cada valor certificado está acompañado por su incertidumbre, con un nivel de confianza establecido. Para evitar la contaminación de las cepas de referencia se deben de limitar los repiques de la misma (hasta 5 repiques máximo) Existen diversas formas de obtención de cepas de referencia, estas pueden ser directa a partir de una colección nacional e internacional reconocida o por proveedores comerciales certificados por ISO 9001 que comercializan repiques de cepas de referencia adquiridas en una colección reconocida. Generalmente el tercer o cuarto repique. Toda cepa referencia debe mantener sus recipientes originales; siendo de obligado requerimiento en la recepción o compra de insumo, el certificado de origen, donde conste el número de repique y el origen entre otros (56).

Entre los proveedores de cepas referencia se encuentran: ATCC (American Type Culture Collection), SVM (Foundation for the Advancement of Public and Environmental Protection), CECT (Colección española de cultivos tipos), CNCM (Collection Nationale de Cultures de Microorganismes) Institut Pasteur y Oxoid Companie, proveedor ISO 9001. (56).

G. Descripción general de los sitios de muestreo.

1. Laboratorio de Investigación en Productos Naturales (LIPRONAT)

El Laboratorio de Investigación en Productos Naturales, LIPRONAT, se ubica en el edificio T-10 de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el ambiente exterior el mismo se encuentra frente a un área boscosa. El LIPRONAT se dedica a la investigación de todo tipo de compuestos provenientes de plantas naturales, así como a la extracción de aceites esenciales de plantas, estos especímenes son almacenados en el laboratorio sobre el área de trabajo. El laboratorio posee una campana de extracción y además no cuenta con salidas de aire, por lo que no existe un flujo adecuado del mismo con la consiguiente deposición de polvo, esporas y otros posibles contaminantes del aire.

2. Centro de Información y Asesoría Toxicológica (CIAT)

El Centro de Información y Asesoría Toxicológica –CIAT- se encuentra ubicado en la 3era calle 6-47 de la zona 1. El CIAT está ubicado dentro de la antigua Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, contiguo al laboratorio, se encuentra la iglesia de San Sebastián, la cual es visitada por aves del género *Columbidae*, comúnmente llamadas palomas, estas pueden ser vehículo para algunos géneros fúngicos como *Histoplasma*. El CIAT se encuentra contiguo al parque San Sebastián, este parque consta de un área verde abundante, semi-boscosa, con caminos completamente de concreto y mucha afluencia de animales, como aves, roedores, gatos y perros. El laboratorio tiene en su bodega compuestos tóxicos con más de 10 años de existencia y uso. En su interior no cuenta con ventanas que faciliten la ventilación del mismo. Se debe mencionar que a finales de junio se instaló en el laboratorio un equipo de aire acondicionado, factor que se discute más adelante.

IV. Justificación

Es necesario establecer la calidad aerobiológica del ambiente exterior e interior en el laboratorio del Centro de Información y Asesoría Toxicológica, del departamento de Toxicología -CIAT-, el cual se encuentra ubicado en zona 1 de la ciudad de Guatemala y el laboratorio de Productos Naturales -LIPRONAT-, ubicado en el edificio T-10 en ciudad universitaria en zona 12 de la ciudad de Guatemala, ambos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Este estudio se enfocó en el grado de contaminación fúngica suspendida en el aire, así como el riesgo ocupacional al que se encontraban expuestas las personas que laboran y estudian en los mismos.

El estudio permitió establecer los niveles de contaminación fúngica, interior y exterior de ambos locales, además de la injerencia de la carga fúngica del ambiente exterior sobre el ambiente interior, así como las medidas a tomar a fin de establecer las normas a seguir para recobrar la bioseguridad y disminuir así sustancialmente el riesgo ocupacional del personal que labora en dichas dependencias de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia debido a la carga de contaminación microbiana en el aire.

V. Objetivos

A. General:

1. Determinar la contaminación por hongos microscópicos en ambientes interiores y exteriores en el laboratorio del Centro de Información y Asesoría Toxicológica, del departamento de Toxicología, -CIAT- ubicado en zona 1 de la ciudad de Guatemala y el laboratorio de Productos Naturales, -LIPRONAT- ubicado en el edificio T-10 en la ciudad universitaria en zona 12 de la ciudad de Guatemala, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

B. Específicos:

1. Cuantificar los niveles (UFC/m³ de aire) de contaminación por hongos microscópicos en el aire de ambientes interiores y exteriores del laboratorio del Centro de Información y Asesoría Toxicológica, del departamento de Toxicología, -CIAT- ubicado en zona 1 de la ciudad de Guatemala y el laboratorio de Productos Naturales, -LIPRONAT- ubicado en el edificio T-10 en la ciudad universitaria en zona 12 de la ciudad de Guatemala, ambas de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Caracterizar e identificar los géneros de hongos microscópicos predominantes en cada uno de los muestreos.
3. Establecer la influencia que ejercen los contaminantes de ambiente exterior sobre los contaminantes de ambiente interior.
4. Comparar la carga micológica entre los diferentes puntos de muestreo seleccionados en los locales antes descritos.

VI. Hipótesis

En el presente proyecto de investigación no procede la formulación de hipótesis, puesto que únicamente se llevará a cabo una descripción de los hallazgos encontrados en los diferentes ambientes a muestreados, además de no poderse predecir los fenómenos a encontrados.

VII. Materiales y métodos

A. Selección de las áreas de muestreo

Se seleccionaron tres puntos de muestreo en cada ambiente (interior y exterior) de LIPRONAT y CIAT, para determinar los niveles de contaminación ambiental por hongos microscópicos, en base de los resultados obtenidos de los cuestionarios diseñados y realizados por el Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR- (anexo A). Estos se enfocaron en aspectos que indican la posible presencia de esporas fúngicas en los mismos, como son: deterioro de paredes, techos, libros y mobiliario, polvo notable sobre superficies de trabajo y equipos. Además, se realizó un mapa con los puntos (anexos B y C) de muestreo de cada uno de los ambientes a analizar.

B. Selección de la hora de muestreo

Para establecer la hora de mayor contaminación en cada ambiente de cada local, se hizo un muestreo por duplicado cada hora durante seis horas. En el LIPRONAT, se realizó de 10:00 a 15:00 horas y en el caso del CIAT, de 8:00 a 13:00. Se establecieron tres puntos de muestreo, en cada local y cada ambiente, en los cuales se llevó a cabo el análisis aerobiológico de cada laboratorio por duplicado. Se realizó la determinación de las Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico de aire (UFC/ m³ de aire) según NRP 201 (57), en cada hora muestreada, lo cual permitió conocer la hora de mayor contaminación por hongos microscópicos en cada local, y área exterior, lo que ayudó a observar la influencia ejercida entre ambas áreas.

Se realizó un muestreo mensual durante siete meses, en los locales seleccionados (CIAT y LIPRONAT) y a la hora seleccionada como de mayor contaminación. En cada muestreo se siguió el mismo procedimiento para el recuento de carga fúngica presente en las áreas donde se llevó a cabo el muestreo. De estas cajas se realizó el aislamiento de las cepas para su posterior caracterización.

C. Muestreo ambiental

Este muestreo se realizó mediante el método volumétrico por impactación. Para llevarlo a cabo se utilizó el biocolector MAS-100 Eco (anexo B), el cual se configuró para que aspirara 100 L/minuto de aire. Los muestreos se realizaron a un metro de altura de manera que no hubiese influencia de los

microorganismos dispuestos en el suelo de cada área en cada laboratorio. Se utilizó un diseño diagonal de tres puntos a un metro de altura tomando en cuenta las dimensiones del local (58).

1. Preparación de medios de cultivo

Se empleó el medio agar Dextrosa de Saboraud con NaCl al 7.5 % como soporte para el crecimiento de hongos microscópicos y agar Papa Dextrosa (PDA) como medio de aislamiento de géneros fúngicos a identificar según recomendaciones de Rodríguez (59). Para la preparación de cada medio de cultivo se pesó la cantidad exacta de agar indicada por el proveedor, en dependencia de la cantidad utilizada y se calentó hasta lograr su total disolución. Se esterilizó, en autoclave a 121°C por 15 min. Cada medio de cultivo se distribuyó asépticamente, en cajas de Petri con un área de 57 cm², utilizando campana de flujo laminar, las que se dejaron reposar hasta su solidificación. Posteriormente se taparon y se incubaron a 28°C durante 24 horas observando la existencia de algún tipo de contaminación en los medios de cultivo.

2. Medición de temperatura y humedad relativa

Para la medición de la humedad y temperatura del ambiente se utilizó un higrómetro, el cual previamente se observó que se encontrara en buen estado, funcionara correctamente y que la batería tuviese carga. Para cada ambiente se seleccionó un punto fresco y central (del área o lugar a muestrear), en donde se colocó el higrómetro, se cuidó que no se viera afectado por ningún equipo, o material que afectara los datos (temperatura y humedad relativa) que proporcionará el higrómetro. Colocado el higrómetro, se encendió el mismo, luego se esperó aproximadamente unos 5-10 minutos hasta que se estabilizó el higrómetro para proceder con la lectura de los resultados. Transcurrido el tiempo, se anotaron los resultados de la temperatura y de la humedad relativa obtenidos con el higrómetro.

3. Muestreo periódico por impactación

Previo al muestreo se tomaron en cuenta las normas básicas de bioseguridad, se utilizaron, guantes, bata, además se observó que las cajas de Petri con el medio no estuviesen contaminadas. El muestreo se realizó a la hora de máxima contaminación, establecida en los muestreos piloto. Se colocó el aeroscopio en el punto dentro del local a muestrear, se procedió a quitar la tapa de seguridad de la cabeza del mismo, se esterilizó la cabeza del aeroscopio con alcohol al 70% y

algodón, esperando a que este secase completamente. Se puso la caja de Petri en la base de la cabeza del aeroscopio sin su tapadera, se cerró la cabeza del mismo, se presionó el botón “yes”, se eligió el volumen de aire a tomar presionando el botón “yes” para confirmar, el botón “no” para cambiar el volumen. Una vez se tuvo el volumen requerido se presionó “yes”, no se seleccionó retraso en ningún muestreo por lo que el mismo inicio presionando “no”. En cada muestreo se evitó comer, hablar encima del aeroscopio o incluso tocar la cabeza del mismo sin esterilizar. Una vez finalizado el proceso de toma de muestra de aire por parte del aparato, se retiró la cabeza del aeroscopio, se colocó sobre la caja de Petri la tapadera de la misma y se repitió el proceso en cada punto seleccionado por duplicado.

D. Recuento de colonias fúngicas emergentes

Se incubaron las cajas de Petri utilizadas en cada uno de los muestreos por siete días a 28°C y se procedió a realizar el conteo de las colonias fúngicas emergentes, utilizando la cámara de Quebec proporcionada por el LAMIR. Para esto se realizó la cuantificación de colonias de cada punto mediante el siguiente esquema: primera lectura a los 3 días después del muestreo periódico, segunda lectura a los 5 días y tercera lectura a los 7 días. Los resultados obtenidos fueron promediados con lo que se obtuvo el total de colonias por punto. Dicho procedimiento se repitió por punto de cada ambiente de ambos laboratorios, tanto para la selección de la hora de mayor contaminación como para los muestreos periódicos.

El valor obtenido del conteo realizado de las colonias emergentes, se expresó en UFC/ml. Debido a la cantidad de orificios que posee la cabeza del aeroscopio, cuatrocientos en total, el valor obtenido incluyó un error estadístico, por lo que se utilizó la fórmula de Feller, proporcionada en la metodología facilitada por el proveedor, siendo esta la siguiente:

$$Pr = N \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{N-1} + \frac{1}{N-2} + \frac{1}{N-r+1} \right)$$

En donde: Pr: total estadístico probable; N: número de orificios presentes en el aparato (400); r: número de unidades formadoras de colonias contadas en cajas de Petri de 90mm.

El valor corregido de la carga fúngica presente en el aire en cada una de las áreas se convirtió por regla de tres en unidades formadoras de colonias por metro cúbico (UFC/m³), utilizando la siguiente fórmula:

$$\frac{UFC}{100L} * \frac{1000Lt}{1m^3} = \frac{UFC}{m^3}$$

En donde 100L fue la cantidad de aire programada que se utilizó para el muestreo de cada punto.

E. Aislamiento fúngico

Para el aislamiento de cada especie, antes de trabajar se procedió a la desinfección de la campana de flujo laminar con Lysol y alcohol al 70% y posteriormente se aplicó luz UV durante 15 min. Se preparó el material a utilizar: asas (en punta y en L), cajas de Petri con agar o medio de cultivo, marcador rotulador, algodón con alcohol al 70%, cajas de Petri con los cultivos a realizarles el aislamiento de la cepa fúngica, incinerador y tiras de papel parafilm. La codificación utilizada para cada muestra fue: lugar del aislamiento, punto del aislamiento, mes y número asignado. Se esterilizó el asa a utilizada con el incinerador eléctrico, luego se esperó a que se enfriara y se tomó un poco de muestra de la colonia sospechosa por raspado la que se sembró en una nueva caja de Petri con agar. Para ello se introdujo ligeramente el asa en punta en el centro de la caja con agar. Se guardaron las cajas sembradas en la incubadora a 28°C hasta que se observó crecimiento (aproximadamente 3-7 días según la cepa fúngica). El proceso se repitió con cada uno de los aislamientos realizados (anexo E).

F. Caracterización e identificación de las colonias aisladas

Se realizó un aislamiento de los hongos presentes en los locales de mayor contaminación de ambos ambientes a fin de obtener un cultivo puro. La caracterización de los hongos aislados se hizo observando las características morfológicas de las colonias como la textura, color, forma de crecimiento. Para dicho efecto se elaboró un formato para identificación macroscópica de hongos (anexo F). Posteriormente de las colonias aisladas se hicieron preparaciones en fresco con solución de azul de lactofenol y se observó al microscopio óptico (60). Se verificó la estructura morfológica que se observó en la preparación en fresco, con el cultivo en lámina que se hizo de la cepa que se estaba caracterizando. Se observó al microscopio las dos preparaciones que se obtuvo del cultivo en lámina y se confirmó las estructuras microscópicas para lo cual se elaboró dos atlas fotográficos para la

identificación de los géneros fúngicos aislados (anexo G). Se realizó la identificación de los géneros fúngicos, según características morfológicas (61).

G. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, para cada laboratorio se realizó una matriz de datos con las variables, “mes”, “ambiente”, “punto” como variables dependientes y la variable “ufcm3” como independiente. Para el análisis de la matriz se utilizó el programa estadístico STATA MP versión 10, con el que se realizó un análisis de varianza de entrada múltiple (ANOVA), gráficos de Tukey por “local” y “mes”, así como un análisis de valores medios por “local” y “mes”. Además se realizó para la variable “mes” la prueba de la mínima diferencia significativa de Fisher. También se realizó una estadística descriptiva y se elaboró gráficas y tablas utilizando el paquete ofimático Microsoft Office Professional 2007 (versión 13).

VIII. Aval de la unidad de investigación

El presente proyecto fue se fue realizado con el aval del ente ejecutor, Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR) y se deriva del proyecto denominado “Estudio Micológico del Aire en Áreas Ocupacionales y Exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas Y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala”. FODECYT 40-2007. Los resultados obtenidos en el presente proyecto cuentan con el aval del LAMIR para su publicación.

IX. Resultados

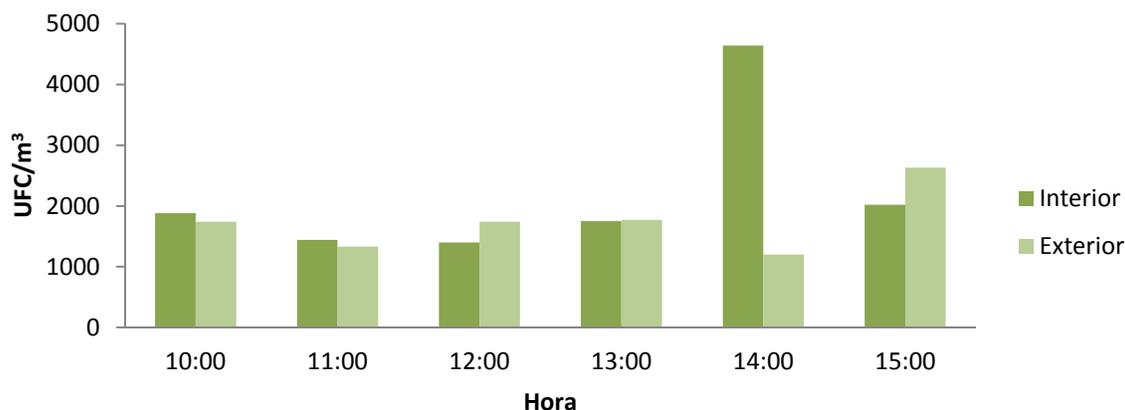
En la presente sección se muestran los resultados obtenidos en este estudio en cuanto a la carga fúngica encontrada en el ambiente interior y exterior de los laboratorios muestreados (LIPRONAT y CIAT), así como las variables que inciden en los mismos. Los resultados se encuentran expresados en unidades formadoras de colonia por metro cubico, según la metodología descrita en materiales y métodos aprobada para el desarrollo del presente proyecto.

A. Determinación de hora de mayor contaminación fúngica

Con el objetivo de establecer la hora de muestreo más adecuada en la cual se observa una mayor contaminación fúngica en cada ambiente de ambos locales, se muestreó el ambiente exterior e interior durante un período de seis horas continuas. Los resultados de dichos muestreos se pueden observar en las gráficas 1 y 2.

En la gráfica 1 se observa que la hora de mayor concentración fúngica en el LIPRONAT es a las 14 horas en el interior (4640 UFC/m³) y a las 15 horas (2630 UFC/m³) en el exterior. Se observó que la carga fúngica es constante en las horas anteriores a la hora de mayor contaminación.

Gráfica 1. Unidades formadoras de colonia por metro cubico (UFC/m³) para selección de hora de mayor contaminación en LIPRONAT Edificio T-10 Z.12.

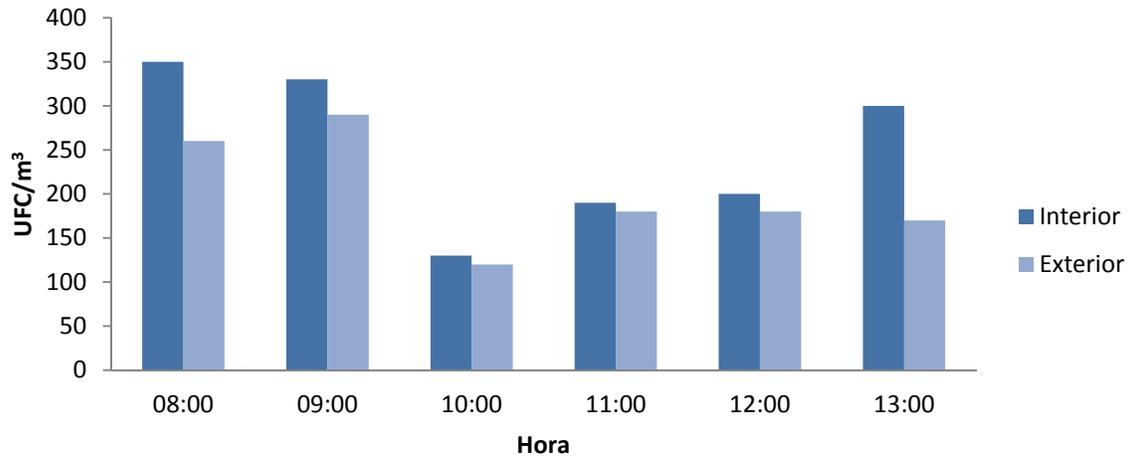


Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio.

En la gráfica 2 se observa que la hora de mayor carga fúngica en el interior del CIAT es a las 8 horas (350 UFC/m³), mientras que en el exterior es a las 9 horas (290 UFC/m³). Nótese que la carga

microbiana de UFC/m³ es constante en las horas posteriores a la hora de mayor contaminación, salvo en el interior a las 13 horas.

Gráfica 2. Unidades formadoras de colonia por metro cubico (UFC/m³) para selección de hora de mayor contaminación en CIAT Z.1.



Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio.

B. Humedad relativa y temperatura

1. Porcentaje de humedad relativa

El porcentaje de humedad relativa en el ambiente interior y exterior de los locales analizados, a lo largo de los muestreos periódicos, durante el período de enero al mes de agosto de 2008, se presenta en la tabla 5. Se puede observar que en los meses en que se realizó el muestreo periódico, el porcentaje de humedad relativa en el interior, en su mayoría es mayor en LIPRONAT, para ambas áreas de muestreo, siendo el mes de junio el que se registró como el más húmedo. En el caso del exterior se puede apreciar que el porcentaje de humedad relativa para ambas áreas se incrementó gradualmente en ambos casos hasta llegar a un pico máximo en el mes de junio.

Tabla 5. Porcentaje de humedad relativa registrada durante los muestreos periódicos en el interior y exterior de los diferentes locales muestreados.

Mes	LIPRONAT (%)		CIAT (%)	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
MPSHMC*	60	50	53	54
Febrero	58	55	50	61
Marzo	35	23	65	55
Abril	59	57	65	55
Mayo	63	58	65	60
Junio	74	79	66	71
Julio	59	59	52	55
Agosto	58	62	56	64

Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio.

*Donde MPSHMC= Muestreo piloto para selección de hora de mayor contaminación.

2. Temperatura

En la tabla 6 se muestran los resultados de las temperaturas en grados Celsius (°C) del ambiente interior y exterior de los laboratorios analizados a lo largo de los muestreos periódicos durante el período de enero al mes de agosto de 2008.

Se registra la temperatura por área, ambiente interior y exterior, así como el mes durante el período en los que se realizó el muestreo. En el LIPRONAT el mes que se registró la mayor temperatura en el ambiente exterior fue en el mes de mayo (30°C) y en el ambiente interior fueron abril y junio (26°C). En el CIAT los meses de mayor temperatura interior fueron marzo y junio (26°C) y en el exterior el mes de marzo (26°C). Se puede observar que los meses de julio y agosto la temperatura varió debido al funcionamiento del aire acondicionado en el ambiente interior de CIAT.

Tabla 6. Temperatura en grados centígrados registrada durante los muestreos periódicos en el interior y exterior de los diferentes locales analizados.

Mes	LIPRONAT (°C)		CIAT (°C)	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
MPSHMC**	26	27	25	26
Febrero	25	29	24	25
Marzo	25	26	26	26
Abril	26	26	24	24
Mayo	24	30	24	25
Junio	26	21	26	25
Julio	23	24	23*	22
Agosto	24	24	22*	23

Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio

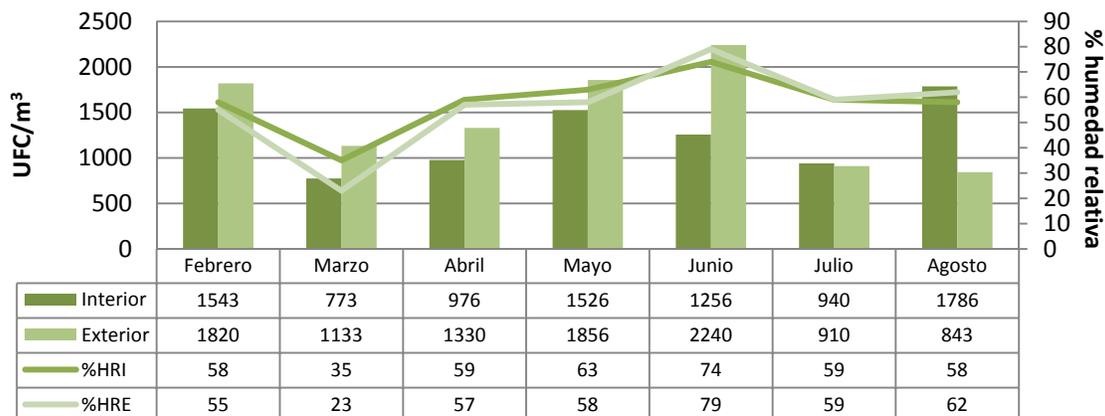
* En estos meses se contó con el funcionamiento de aire acondicionado con deshumificador en el área muestreada.

**Donde MPSHMC= Muestreo piloto para selección de hora de mayor contaminación.

C. Relación entre humedad relativa y carga fúngica en muestreos periódicos (feb-ago 2008)

En la gráfica 3 se observa que en el LIPRONAT la mayor carga fúngica en el ambiente interior fue en agosto con 1786 UFC/m³ y en el exterior en el mes de junio con 2240 UFC/m³. Se observa que el porcentaje mayor de humedad relativa en ambos ambientes fue en el mes de junio. La menor contaminación fúngica se detectó en marzo (773 UFC/m³) para el interior y en agosto (843 UFC/m³) para el exterior. El menor porcentaje de humedad relativa se encontró en el mes de marzo (35% en interior y 23% en exterior).

Gráfica 3. Relación de humedad relativa con respecto a la carga micológica en UFC/m³ en los ambientes muestreados en LIPRONAT de Feb-Ago 2008

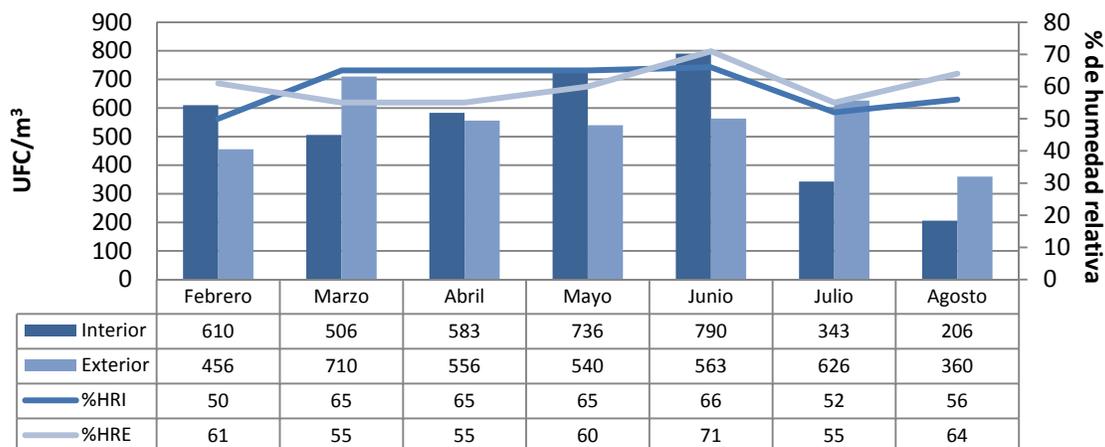


Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio.

Donde HRI = Humedad relativa interior, HRE = Humedad relativa exterior.

En la gráfica 4 se observa que en el CIAT los meses que presentaron mayor contaminación fúngica fueron junio (790 UFC/m³) en el interior y marzo (710 UFC/m³) en el exterior. El mes de agosto fue el que presentó menor carga fúngica en el interior (206 UFC/m³) y exterior (360 UFC/m³). En cuanto al porcentaje de humedad relativa el mes que presentó el mayor porcentaje en ambos ambientes fue junio con 66% en el interior y 71% en el exterior.

Gráfica 4. Relación de humedad relativa con respecto a la carga micológica en UFC/m³ en los ambientes muestreados en CIAT de Feb-Ago 2008



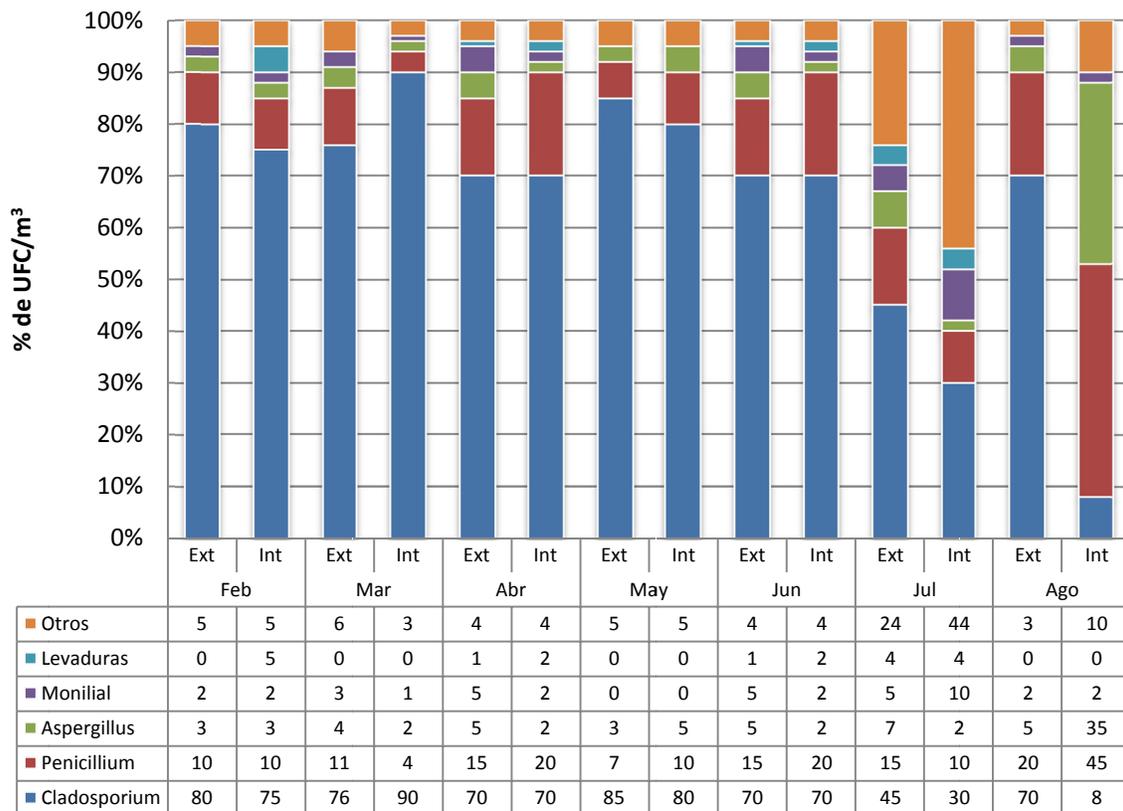
Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio.

Donde HRI = Humedad relativa interior, HRE = Humedad relativa exterior.

D. Géneros predominantes

En la gráfica 5 se puede observar que *Cladosporium* fue el género que predominó de febrero a junio en ambos ambientes del LIPRONAT ($\geq 70\%$ de los casos). En julio y agosto *Cladosporium* predominó en el ambiente exterior no así en el interior, en esos meses hubo predominio de otras especies sin identificar (julio, con 44%). En agosto, predominó *Penicillium* (45%) seguido de *Aspergillus* (35%). En lo que respecta a *Monilia* se observó un porcentaje menor del 10% en todos los meses, aumentando sin predominar en el mes de julio en el interior. Otras como las levaduras, se observaron de febrero a julio en un bajo porcentaje (<5%).

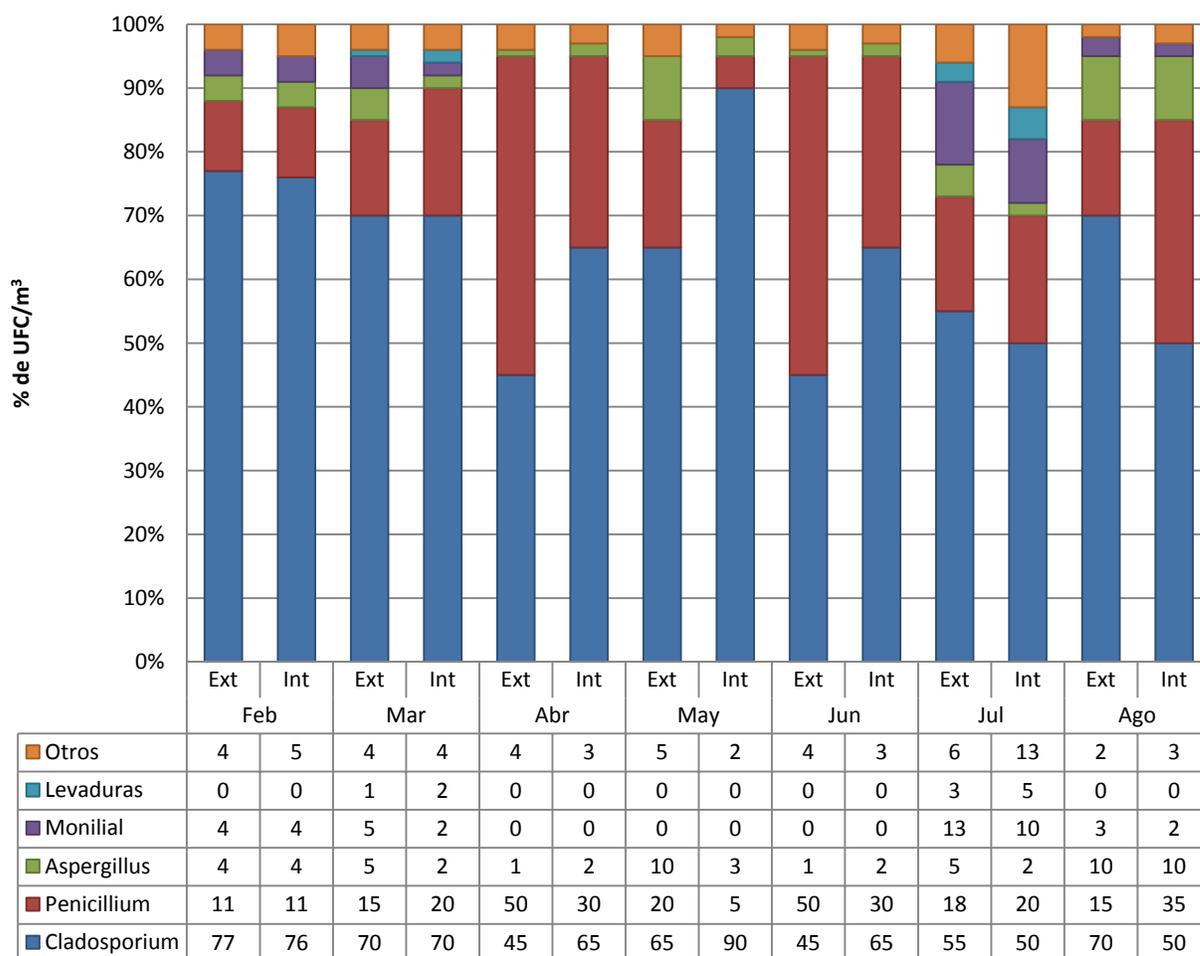
Gráfica 5. Porcentaje de carga micológica en UFC/m³ de los diferentes géneros muestreados periódicamente (FEB-AGO) en ambos ambientes del LIPRONAT.



Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio

En la gráfica 6 se puede apreciar que los géneros predominantes en CIAT son *Cladosporium* y *Penicillium*. En el caso de *Cladosporium*, este predominó en febrero, marzo, mayo, julio y agosto ($\geq 50\%$) en ambos ambientes y en el interior en abril (65%) y junio (65%). En el caso de *Penicillium*, este predominó sobre *Cladosporium* en abril (50%) y junio (50%) ambos casos en el exterior, siendo los demás meses el segundo género en importancia. En el caso de *Aspergillus* no se observó más allá del 10% en ambos ambientes en los siete meses. En cuanto a *Monilia* se observó menor al 14% febrero, marzo, junio y agosto. Las levaduras se presentaron únicamente en marzo y junio (<6%). Los géneros no identificados corresponden a menos del 14% durante los meses que duró el muestreo.

Gráfica 6. Porcentaje de carga micológica en UFC/m³ de los diferentes géneros muestreados periódicamente (FEB-AGO) en ambos ambientes del CIAT.



Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio.

E. Análisis estadístico

1. Laboratorio de Investigación en Productos Naturales (LIPRONAT)

En la tabla 7 se observa el valor promedio de la carga fúngica para cada mes expresado en UFC/m³, para ambos ambientes. En LIPRONAT, el mes que presenta mayor carga fúngica en ambos ambientes es junio (1748 UFC/m³), seguido de mayo (1691 UFC/m³) y febrero (1681 UFC/m³). El mes que presentó menor carga fúngica fue el de julio en ambos ambientes (925 UFC/m³).

Tabla 7. Carga fúngica (UFC/m³) promedio durante los meses de febrero a agosto de LIPRONAT.

Over	Mean	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
ufcm3				
1	1681.667	96.07	1487.649	1875.684
2	953.3333	114.6783	721.7358	1184.931
3	1153.333	101.05	949.2586	1357.408
4	1691.667	296.9559	1091.952	2291.381
5	1748.333	283.918	1174.949	2321.717
6	925	65.35799	793.0069	1056.993
7	1315	226.9324	856.7006	1773.299

Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio.

En donde 1 = febrero, 2 = marzo, 3= abril, 4= mayo, 5= junio, 6 = julio y 7= agosto de 2008.

En el análisis de variable de entrada múltiple (tabla 8), al analizar las co-variables de punto, ambiente y mes (febrero a agosto de 2008), se puede observar que hubo diferencia significativa solo con respecto al mes ($p = 0.0100$) ya que presento un valor de p-value menor a 0.05, en el caso de los puntos ($p = 0.6229$) y ambientes ($p = 0.2012$) se puede observar que no existe diferencia significativa ya que los valores de p-value fueron mayores a 0.05.

Tabla 8. Análisis de varianza de entrada múltiple de las UFC/m³ en LIPRONAT.

```

anova ufc3 punto ambiente mes

```

	Number of obs =	42	R-squared =	0.4207	
	Root MSE =	471.756	Adj R-squared =	0.2578	
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	5172307.14	9	574700.794	2.58	0.0232
punto	213861.905	2	106930.952	0.48	0.6229
ambiente	379050	1	379050	1.70	0.2012
mes	4579395.24	6	763232.54	3.43	0.0100
Residual	7121704.76	32	222553.274		
Total	12294011.9	41	299853.949		

Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio.

En la tabla 9 se observa que hubo diferencia estadísticamente significativa (p -value < 0.05) entre la contaminación fúngica de los meses de febrero con marzo ($p = 0.037$) y julio ($p = 0.032$), marzo con mayo ($p = 0.035$) y junio ($p = 0.027$), mayo y julio ($p = 0.0306$), junio y julio (0.0233). No se observa diferencia estadísticamente significativa entre la contaminación fúngica de los meses restantes.

Tabla 9. Prueba de mínima diferencia significativa de Fisher para comparaciones múltiples de UFC/m³ de los diferentes meses muestreados de LIPRONAT.

Source	Analysis of Variance			F	Prob > F
	SS	df	MS		
Between groups	4579395.24	6	763232.54	3.46	0.0086
within groups	7714616.67	35	220417.619		
Total	12294011.9	41	299853.949		

Bartlett's test for equal variances: $\chi^2(6) = 17.8472$ Prob> $\chi^2 = 0.007$

Comparison of ufc_{m3} by Mes
(Fisher's Least Significant Difference)

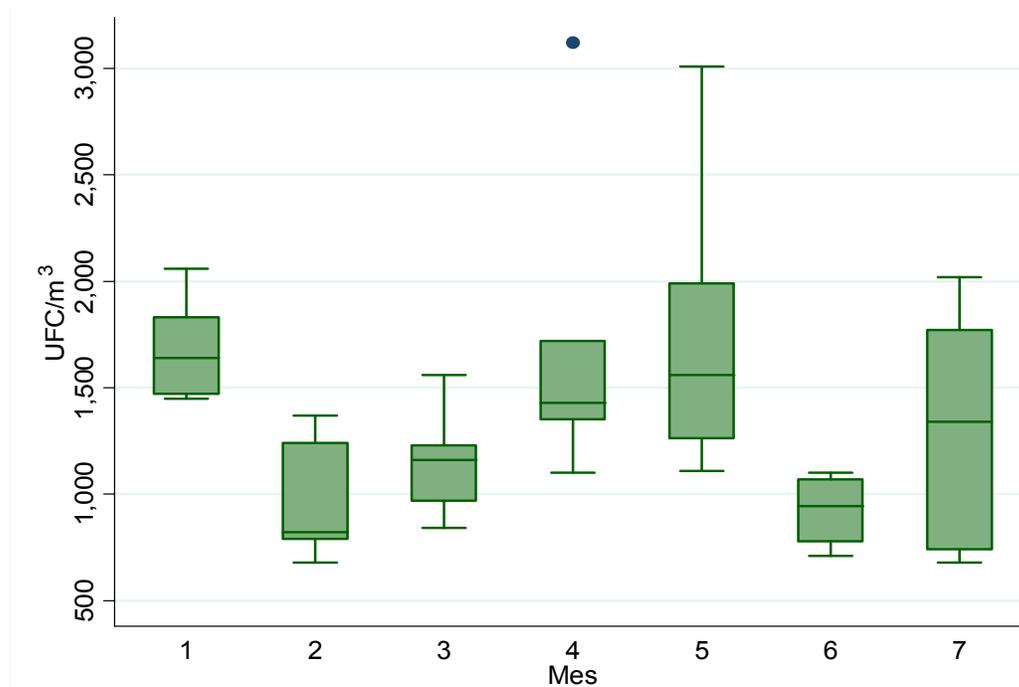
Row Mean - Col Mean	1	2	3	4	5	6
2	-728.333 0.037					
3	-528.333 0.10	200 0.491				
4	10 0.972	738.333 0.035	538.333 0.0955			
5	66.6667 0.815	795 0.027	595 0.072	56.6667 0.8421		
6	-756.667 0.032	-28.3333 0.9206	-228.33 0.994	-766.667 0.0306	-823.333 0.0233	
7	-366.667 0.930	361.667 0.2325	161.667 0.434	-376.667 0.216	-433.333 0.1627	390 0.2021

Fuente: datos experimentales obtenidos para este estudio

En donde 1 = febrero, 2 = marzo, 3= abril, 4= mayo, 5= junio, 6 = julio y 7= agosto de 2008.

En la gráfica 7 se puede observar la variabilidad de la carga fúngica así como el aumento de la misma con respecto a la época, estación seca o lluviosa, en la que se realizó el muestreo. Se observa que en los meses de febrero (caja 1), mayo (caja 4), junio (caja 5) y agosto (caja 7) tienen un aumento en la carga fúngica, con respecto a lo observado en los demás meses.

Gráfica 7. Gráfica de Tukey para comparación de carga fúngica expresada en UFC/m³ por meses muestreados del LIPRONAT.



Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio

Mes: en donde 1 = febrero, 2 = marzo, 3= abril, 4= mayo, 5= junio, 6 = julio y 7= agosto de 2008.

2. Centro de Información y Asesoría Toxicológica (CIAT)

Se observa en la tabla 10 que el valor promedio de cada mes expresado en UFC/m³ de ambos ambientes en CIAT, el mes que presenta mayor carga fúngica en ambos ambientes es junio (677 UFC/m³), seguido de mayo (638 UFC/m³) y marzo (608 UFC/m³). El mes que presentó menor carga fúngica fue el de agosto en ambos ambientes (283 UFC/m³)

Tabla 10. Carga fúngica (UFC/m³) promedio durante los meses de febrero a agosto de CIAT.

Over	Mean	Std. Err.	[95% Conf. Interval]	
ufcm3				
1	533.3333	45.28919	441.87	624.7967
2	608.3333	67.49897	472.0164	744.6503
3	570	37.85939	493.5414	646.4586
4	638.3333	62.57884	511.9528	764.7139
5	676.6667	83.45325	508.1294	845.2039
6	485	110.7174	261.4018	708.5982
7	283.3333	43.02454	196.4435	370.2232

Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio

Mes: en donde 1 = febrero, 2 = marzo, 3= abril, 4= mayo, 5= junio, 6 = julio y 7= agosto de 2008.

En la tabla 11 se observa que al realizar el análisis de variable de entrada múltiple, en donde las co-variables son punto, ambiente y mes (febrero a agosto de 2008), existe diferencia significativa solo con respecto al mes ($p = 0.0080$) ya que presentó un valor de p-value menor a 0.05, en el caso de los puntos ($p = 0.3052$) y ambientes ($p = 0.9209$) se puede observar que no existe diferencia significativa ya que los valores de p-value fueron mayores a 0.05.

Tabla 11. Análisis de varianza de entrada múltiple de UFC/m³ en CIAT.

. anova ufc3 punto ambiente mes

	Number of obs =	42	R-squared =	0.4279	
	Root MSE =	169.541	Adj R-squared =	0.2671	
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	688092.857	9	76454.7619	2.66	0.0200
punto	70814.2857	2	35407.1429	1.23	0.3052
ambiente	288.095238	1	288.095238	0.01	0.9209
mes	616990.476	6	102831.746	3.58	0.0080
Residual	919814.286	32	28744.1964		
Total	1607907.14	41	39217.2474		

Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio

En la tabla 12 se observa que hubo diferencia estadísticamente significativa (p -value < 0.05) entre los meses de febrero ($p = 0.043$), marzo ($p = 0.0160$), abril ($p = 0.0263$), mayo ($p = 0.011$), junio ($p = 0.0070$) con respecto al mes de agosto. No se observa diferencia estadísticamente significativa entre la carga fúngica de los demás meses.

Tabla 12. Prueba de mínima diferencia significativa de Fisher para comparaciones múltiples de UFC/m³ de los diferentes meses de muestreo en el CIAT.

Source	Analysis of Variance			F	Prob > F
	SS	df	MS		
Between groups	616990.476	6	102831.746	3.63	0.0066
Within groups	990916.667	35	28311.9048		
Total	1607907.14	41	39217.2474		

Bartlett's test for equal variances: $\chi^2(6) = 8.5389$ Prob> $\chi^2 = 0.201$

Comparison of ufc_{m3} by Mes
(Fisher's Least Significant Difference)

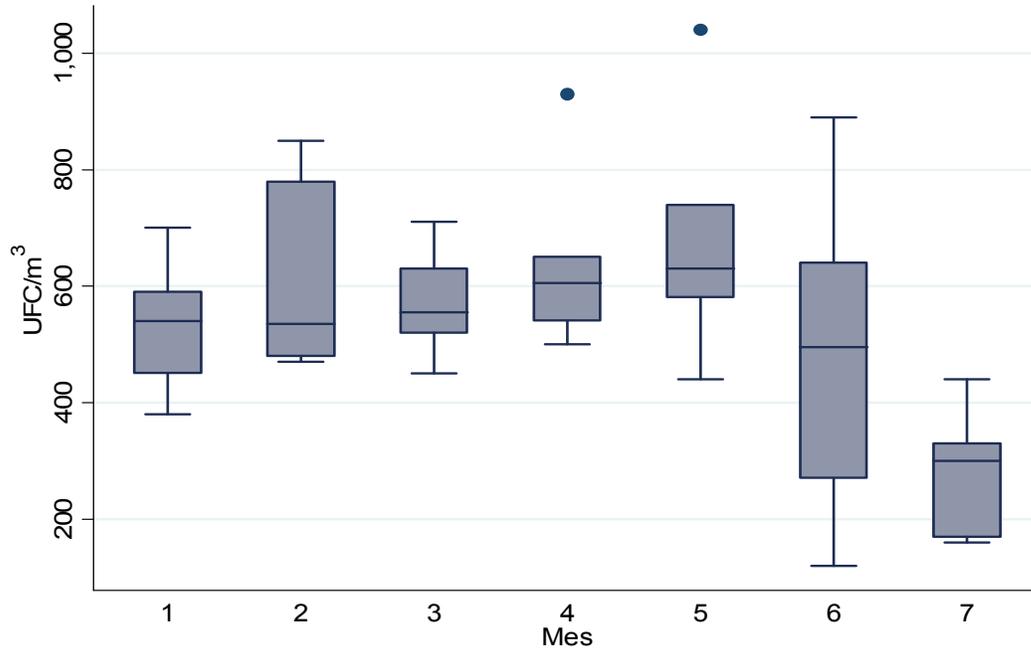
Row Mean - Col Mean	1	2	3	4	5	6
2	75 0.4724					
3	36.6667 0.7208	38.3333 0.7089				
4	105 0.3246	30 0.7696	68.333 0.5112			
5	143.333 0.1934	68.333 0.5112	106.667 0.3180	38.333 0.7089		
6	-48.3333 0.6390	-123.333 0.2544	-85 0.4186	-153.33 0.1682	-191.667 0.098	
7	-250 0.043	-325 0.0160	-286.667 0.0263	-355 0.011	-393.333 0.0070	-201.667 0.085

Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio

Mes: en donde 1 = febrero, 2 = marzo, 3= abril, 4= mayo, 5= junio, 6 = julio y 7= agosto de 2008.

En la gráfica 8 se puede observar la variabilidad de la carga fúngica con respecto a la época muestreada, estación seca o lluviosa. Se observa que en los meses de marzo (caja 2) y mayo (caja 4) tienden a presentar un sesgo hacia la izquierda. En el caso de junio (caja 5) se presenta un sesgo hacia la derecha. En los meses antes mencionados (marzo, mayo y junio) se tiene un aumento en la carga fúngica, con respecto a lo observado en los meses restantes.

Gráfica 8. Gráfica de Tukey para comparación de carga fúngica expresada en UFC/m³ por mes del CIAT.



Fuente: Datos experimentales obtenidos para este estudio

Mes: en donde 1 = febrero, 2 = marzo, 3= abril, 4= mayo, 5= junio, 6 = julio y 7= agosto de 2008.

X. Discusión de resultados

A. Laboratorio de Investigación en Productos Naturales (LIPRONAT)

1. Selección de la hora de mayor carga fúngica

La hora de mayor contaminación se estableció mediante la realización de un muestreo intradiurno, el que duró seis horas, en las que se priorizó el horario de funcionamiento del laboratorio. Lo anterior se hizo para evaluar el impacto que pudiera generar al ambiente la carga fúngica presente. En la gráfica 1 se puede observar que la hora de mayor contaminación en el interior del LIPRONAT fue a las 14 horas y la del exterior a las 15 horas. En lo que respecta al interior, la concentración fúngica pudo ser mayor a las 14 horas por el uso y manipulación de materia vegetal en las horas previas, así como también a las condiciones del laboratorio, antes mencionadas. También, podría haber influencia del personal sobre la carga fúngica, puesto que a las 14 horas el personal regresa a laborar después del almuerzo. En cuanto al ambiente exterior, la carga fúngica pudo ser mayor a las 15 horas por las condiciones propias del microclima que se encuentra frente al LIPRONAT, además se debe de mencionar variables que pueden incidir en la carga fúngica como temperatura elevada y humedad alta registradas en dichas horas como se observa en la tabla 5 y 6.

2. Relación de la humedad relativa y temperatura con respecto a la carga fúngica en el LIPRONAT

2.1. Humedad relativa

En la tabla 5 se aprecia que el rango de humedad relativa en LIPRONAT fue de 35-74% en el interior y de 23-79% en el exterior. En el interior se puede apreciar que la cantidad de humedad es la necesaria para que se de en algunos casos, baja esporulación y en otros una alta esporulación de hongos, allí la variabilidad en la carga fúngica obtenida a lo largo de los muestreos, por lo que se observó una mayor contaminación en algunos meses del muestreo (gráfica 3).

2.2. Temperatura

En la tabla 6 se observan las diferentes temperaturas obtenidas a lo largo de los muestreos en el LIPRONAT, se sabe que el crecimiento fúngico y la actividad de estos incrementa a temperaturas mayores a los 24°C. En este caso se observó que salvo mayo y julio la temperatura del ambiente

interior y exterior es igual o mayor a los establecido para el crecimiento fúngico, con lo que se favorece el aumento en la carga fúngica del laboratorio.

3. Determinación de la carga fúngica en ambiente interior y exterior del LIPRONAT

En la gráfica 3 y tabla 7 se los niveles de contaminación fúngica encontrados a lo largo de los muestreos periódicos. Según los criterios propuestos por Wanner y cols. (tabla 4), la contaminación fúngica encontrada sería en categoría alta, ya que en ambos ambientes exceden las 500 UFC/m³ de esporas dispersas en el aire.

3.1. Ambiente exterior

La variabilidad en la carga fúngica obtenida durante los muestreos periódicos se debe probablemente a los factores de humedad relativa elevada y temperaturas mayores a 24°C. En cuanto a lo observado en los meses de febrero, mayo y junio se puede pensar que la carga fúngica pudo ser alta por la temperatura, la humedad y el microclima húmedo aunque en febrero la lluvia fue como chubascos dispersos (tabla 1), por lo que la poca precipitación pluvial pudo haber favoreciendo el crecimiento fúngico.

En cuanto a la disminución de carga fúngica en los meses muestreados (marzo, julio y agosto), se debe mencionar que en lo que respecta a marzo, si bien la precipitación pluvial fue nula (tabla 1) también se registró una disminución de la temperatura y un aumento en la velocidad del viento con lo que se pudo disminuir la deposición de esporas fúngicas. Además si bien julio y agosto son meses con lluvia, se observó que durante estos meses hubo un descenso en la temperatura, lo que incidió en la esporulación fúngica. Es de esperar que en el ambiente externo la ventilación influya en la disminución de carga fúngica, la cual está sujeta al microambiente que predomine en el bosque que se encuentra frente al edificio T-10 y esto pudo incidir en el aumento o disminución de la carga fúngica.

3.2. Ambiente interior

En la gráfica 3 se observa que el comportamiento de la carga fúngica es similar entre ambos ambientes. En febrero, mayo y agosto la carga fúngica es elevada, coincidiendo con el comportamiento de la humedad relativa, temperatura y con aquellos procesos existentes propios de la actividad humana (antropogénicos) realizados en dicho ambiente. En cuanto a marzo, abril,

junio y julio, se observó una leve disminución de la carga fúngica que correlaciona con la humedad relativa y la disminución de las temperaturas registradas, lo que probablemente incidió en disminución de la esporulación fúngica. La calidad del aire del interior de este laboratorio estuvo sujeta a variables analizadas como, temperatura, humedad relativa, ventilación, así como a las condiciones de limpieza que pudieran haberse realizado en el laboratorio previo a los muestreos periódicos por parte del personal de limpieza.

Entre los posibles riesgos encontrados en el ambiente laboral de las instalaciones del LIPRONAT, se observó una ventilación inadecuada, falta de espacios para el almacenamiento de las muestras de materia vegetal, así como la sobresaturación de espacios de trabajo con material y equipo utilizado para el funcionamiento del laboratorio, lo que ayuda a la deposición de esporas fúngicas. También afecta la cantidad de personal estable, con relación al área trabajo en el laboratorio, aproximadamente 100 m² (tabla 2), aumentando así el riesgo del personal para el desarrollo de alguna alergia o enfermedad.

Se abordó el tema de la sobrepoblación, ya que desde el inicio, con el muestreo de la hora de mayor contaminación se pudo establecer que el personal que labora en el laboratorio, puede influir en la calidad del aire, al servir como transporte de esporas fúngicas. Debe tomarse en cuenta que la hora de mayor contaminación fúngica fue a las 14 horas, hora de regreso de todo el personal después del almuerzo. Si se observa la tabla 6, se puede apreciar que ninguno de los valores establecidos durante los muestreos periódicos fue menor a las 500 UFC/m³, lo cual indica que el personal que allí labora se encuentra en un ambiente, que podría incidir en la salud de los mismos.

4. Comparación entre ambientes, puntos y meses muestreados con respecto a la carga fúngica del LIPRONAT

4.1. Influencia del ambiente exterior sobre el interior

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza múltiple (ANOVA), tabla 8, muestran que no existe diferencia significativa (p-value = 0.2012), con lo cual se puede inferir que no existe influencia del ambiente exterior sobre el ambiente interior y los niveles de contaminación microbiana del LIPRONAT.

4.2. Puntos de muestreo y su influencia entre ambientes

Así como se analizó la posible influencia del ambiente exterior sobre la calidad de aire del ambiente interior, también se analizó la posible influencia de los puntos seleccionados, en ambos ambientes. Con respecto a la carga fúngica, se encontró que no existe diferencia significativa (tabla 8) por punto y nivel de carga fúngica, por lo que ningún punto influyó sobre la carga microbiana presente en el aire de ambos ambientes.

4.3. Influencia de los meses sobre la carga fúngica

En la tabla 8, al comparar la carga fúngica entre los meses muestreados, se encontró diferencia significativa, lo que correlaciona con la variabilidad de la carga fúngica durante los meses muestreados (gráfica 3). Como se ha mencionado, diversos factores intervienen en la carga fúngica, al realizar la prueba de la mínima diferencia significativa de Fisher para los meses muestreados (tabla 9), se constató que existía diferencia significativa entre febrero con marzo ($p=0.037$) y julio ($p=0.032$), en este caso, los dos primeros pertenecen a la época seca (tabla 1), sin embargo si se toma en cuenta que el mes de febrero hubo algunos chubascos, sobre todo durante el muestreo periódico de ese mes, se puede explicar así la carga fúngica elevada obtenida (tabla 7). En el caso de febrero y julio, ambos meses pertenecen a distinta época del año, siendo julio parte de la época lluviosa (tabla 1), en donde difieren por tanto las condiciones de humedad, temperatura, precipitación pluvial, dando como resultado la diferencia entre las cargas fúngicas obtenidas (gráfica 7).

En marzo, mayo y junio, se observó una variación en la carga fúngica registrada, la cual pudo ser originada por factores como humedad relativa (tabla 5) y la actividad antropogénica del laboratorio, puesto que la temperatura fue similar en esos meses (tabla 6). La variabilidad en la carga fúngica observada en mayo y julio así como la de junio y julio puede ser producto de la actividad propia del laboratorio. En agosto se realizó un muestreo durante la canícula y se registró un aumento de la temperatura y el cese de las lluvias, según lo reportado por el INSIVUMEH (2), factores que junto al humano pudieron elevar la carga fúngica en el ambiente interior. Además de las pruebas anteriores, se realizó un gráfico de caja (Tukey, gráfica 7) de la carga fúngica con respecto a los meses muestreados, en dicho análisis se observó que el comportamiento de la carga

fúngica de los meses de marzo a julio fue similar a una campana de Gauss, no así en los meses de febrero y agosto.

5. Géneros predominantes en el LIPRONAT

Entre los objetivos de este estudio, se encontraba la caracterización e identificación de géneros fúngicos aislados durante los muestreos realizados. En el LIPRONAT (gráfica 5), el género predominante fue *Cladosporium* durante todo el muestreo, entre las implicaciones para la salud mencionadas por investigadores como Nolard, N en 2001 (16), Rodríguez, J y Alonso, J. en 2004 (20), se encuentran, asma, afecciones respiratorias como bronco espasmo, enfisema pulmonar, entre otros. Pasanen, A. *et al* (23), reporta que *Cladosporium* suele encontrarse mayoritariamente en ambientes exteriores, en este caso, la cercanía del área con árboles que rodea al edificio T-10, así como la manipulación de gran cantidad y almacenamiento de material vegetal pudieron ser factores determinantes para la propagación de este hongo.

Durante el estudio se observaron géneros fúngicos predominantes, como *Penicillium*, *Aspergillus* y en menor proporción, *Monilia*, géneros reportados por Bial y Aristegui (19), como oportunistas, capaces de provocar rinitis alérgica, conjuntivitis y dermatitis. Otros géneros como *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Penicillium* fueron predominantes durante el estudio, lo que coincide con lo reportado por Kuo, Y. *et al.* en 1994 (24), que reporta estos géneros como predominantes en climas subtropicales, como es el presente en Guatemala. Las levaduras y otros géneros fúngicos sin identificar, se discutirán en la sección C.

B. Centro de Información y Asesoría Toxicológica (CIAT)

1. Selección de la hora de mayor carga fúngica

La hora de mayor contaminación, como se observa en la gráfica 2, fue a las 8 horas en el interior y las 9 horas en el exterior. Lo observado en el interior de este laboratorio puede ser consecuencia de factores propios del mismo, es necesario mencionar que mucho del mobiliario y puertas presentes en este laboratorio son de madera, lo que junto con la humedad y factores propios del lugar pueden influir completamente en la carga fúngica. Al igual que en el LIPRONAT, el microclima existente en el CIAT puede hacer que disminuyan o aumenten la esporulación fúngica, lo cual podría incidir indirectamente en la carga fúngica exterior de este laboratorio. Entre estos factores

están, la humedad ambiental, pH del agua, la temperatura, velocidad del viento y disponibilidad de nutrientes.

2. Relación de la humedad relativa y temperatura con respecto a la carga fúngica en el CIAT

2.1. Humedad relativa

El rango de humedad relativa interior fue de 50-66% y en el exterior de 55-71% (tabla 5). En el interior se observó una mayor contaminación fúngica en los meses de mayo y junio, coincidiendo con la humedad relativa observada (gráfica 4). Las condiciones de humedad encontradas pueden explicar pues la variabilidad fúngica detectada durante los muestreos periódicos realizados.

2.2. Temperatura

En cuanto a la temperatura registrada la misma durante los muestreos vario más menos un grado centígrado, manteniéndose en el rango de 24-26 °C durante los meses de febrero a junio, disminuyendo en julio y agosto, como se menciona antes, estos meses cuentan con una ambiente controlado en el interior del laboratorio por la instalación de un equipo de aire acondicionado, se ha mencionado que algunos géneros fúngicos pueden esporular a temperaturas inferiores a 24 °C (tabla 6), sin embargo como se discute más adelante, los géneros fúngicos predominantes fueron similares a los del LIPRONAT. En cuanto al exterior el rango fue similar al del ambiente interior con lo que se puede esperar una temperatura óptima para el aumento de carga fúngica dispersa en ambos ambientes.

3. Determinación de la carga fúngica en ambiente interior y exterior en el CIAT

En la gráfica 4 y tabla 10 se presenta la contaminación fúngica que se encontró a lo largo de los muestreos periódicos. Según los criterios propuestos por Wanner y cols. (47) el grado de contaminación del ambiente interior sería alta, por presentar una contaminación microbiana entre 500 y 1000 UFC/m³, a excepción del mes de agosto, en la que el nivel de contaminación es intermedio. En el caso del ambiente exterior el nivel de contaminación fúngico encontrado durante todo el año es alto.

3.1. Ambiente exterior

Al igual que en el LIPRONAT, la variabilidad fúngica que se obtuvo durante los muestreos periódicos pudo ser por factores como la humedad relativa elevada (más de 65%), temperatura alta (mayor a 24°C). Lo anterior se observa sobre todo en marzo, abril, junio y julio, en los que hubo mayor carga fúngica, tanto en época seca como en época lluviosa (gráfica 4). Se observó menor concentración de esporas fúngicas, en los meses de febrero, mayo y agosto. En algunos casos se observó menor precipitación pluvial (tabla 1) y esto incidió en la humedad relativa encontrada. Se debe tomar en cuenta que la ventilación existente en este ambiente externo fue adecuada, ya que si bien el edificio de la antigua facultad de farmacia se encuentra junto al parque San Sebastián, parque descrito con anterioridad, no se obtuvieron valores de carga fúngica similares a los obtenidos en el ambiente exterior del LIPRONAT. Se debe mencionar que no es objetivo de este estudio la comparación entre los locales muestreados, mencionándose la diferencia entre ambos para establecer que puede existir también influencia en la carga por parte de los ecosistemas cercanos.

3.2. Ambiente interior

Al analizar los resultados del ambiente interior en la gráfica 4, se observa un patrón similar entre ambientes. El aumento registrado de la carga fúngica en febrero, abril, mayo y junio, coincide con las condiciones propicias descritas, para la propagación y esporulación fúngicas (humedad relativa alta y temperaturas elevadas). A las condiciones antes mencionadas se les debe de agregar diversos factores propios del establecimiento, que pudieron intervenir en el aumento gradual de la carga fúngica, entre los que se tiene: las filtraciones de agua propias de una construcción antigua, deteriorada y de la inadecuada ventilación del ambiente. Esto favorece la deposición de material fúngico, así como el hacinamiento de mobiliario de madera en mal estado, el cual se sabe puede servir de nicho para diferentes géneros fúngicos.

Los meses que presentaron menor carga fúngica fueron marzo, julio y agosto. En marzo, si bien se podía esperar un aumento en la carga fúngica, se observó un descenso en la misma, a pesar que unos días previos al muestreo se realizaron actividades de limpieza del local, lo que podría verse reflejado en la carga fúngica del mismo. En cuanto a julio y agosto, la disminución marcada de la carga fúngica en este ambiente pudo ser por la instalación de aire acondicionado con su respectivo deshumificador en este laboratorio. Además, se incrementó la limpieza de superficies en julio y

agosto, lo cual influyó en la poca deposición de contaminantes biológicos en este ambiente y por ende, en la disminución de la carga fúngica observada en esos meses. Al observar la tabla 10, se puede apreciar que la mayoría de los valores obtenidos durante los muestreos periódicos se sitúan entre 500 y 700 UFC/m³, lo cual indica una contaminación fúngica alta (tabla 4) durante esos meses. En el caso de julio y agosto el nivel de carga fúngica fue entre 100 - 500UFC/m³, por lo que la contaminación fúngica del interior fue intermedia (tabla 4).

4. Comparativa entre ambientes, puntos y meses muestreados con respecto a la carga fúngica en el CIAT

4.1. Influencia del ambiente exterior sobre el interior

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza múltiple (ANOVA), tabla 10, muestran que no existe diferencia significativa (p-value = 0.9209), con lo cual se puede inferir que no existe influencia entre ambientes y los niveles de contaminación microbiana del CIAT.

4.2. Puntos de muestreo y su influencia entre ambientes

En cuanto al análisis por puntos se puede observar en la tabla 10, que no existe diferencia significativa (p-value = 0.3052) entre los puntos muestreados de cada ambiente y la carga fúngica obtenida.

4.3. Influencia de los meses sobre la carga fúngica

En lo que respecta a los meses muestreados, al analizar los datos obtenidos en la tabla 11, se pudo establecer que si existe diferencia significativa entre los diferentes meses y la carga fúngica obtenida. Lo anterior tomando en cuenta de que durante el muestreo se contó con variabilidad de clima, dos estaciones, diferentes temperaturas y diferentes condiciones de humedad relativa lo que pudo incidir en los resultados obtenidos. Debido a que existió diferencia significativa entre la carga fúngica y el mes se hizo la prueba de la mínima diferencia significativa de Fisher (tabla 12), en la que se obtuvo diferencia significativa de febrero a junio con respecto al mes de agosto. Lo anterior se puede explicar con el hecho de que desde el mes de julio se contó con equipo de aire acondicionado, el cual pudo influir en la disminución de la carga fúngica obtenida en agosto.

En julio se observó, que a pesar del aire acondicionado en funcionamiento, la carga fúngica duplicó a la de agosto, siendo similar a la de los demás meses, por lo que no hubo diferencia significativa entre julio y los demás meses. Esto pudo deberse a condiciones como temperatura, humedad relativa y la propia actividad antropogénica del laboratorio. Un factor que pudo afectar en la disminución de la carga fúngica en agosto, fue el hecho de realizar el muestreo durante el período de canícula (2), en el cual hay una disminución de humedad relativa y temperatura, lo que incide en la esporulación fúngica.

5. Géneros predominantes en el CIAT

Entre los objetivos de este estudio se encontraba la caracterización e identificación de géneros fúngicos aislados durante los muestreos realizados, en el CIAT (gráfica 6), los géneros fúngicos predominantes fueron, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Monilia*, respectivamente. En el ambiente exterior, *Cladosporium* fue el género predominante, coincidiendo con lo reportado por Pasanen, A. et al, en 1991 (23). En este caso, la cercanía del parque San Sebastián pudo ser factor determinante para la propagación del hongo. El género *Penicillium* predominó en abril (exterior) y junio (exterior), en estos casos se debe a que este hongo suele presentarse mayormente en época lluviosa que en época seca. Este hongo prolifera mayormente en suelos y tiene una facilidad de dispersión elevada. Los géneros *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Monilia*, fueron reportados por Bial y Aristegui (19), como oportunistas, razón por la cual es importante aplicar mecanismos para la disminución de la carga fúngica de estos géneros en el ambiente interior de este laboratorio. Al igual que en el LIPRONAT, el comportamiento observado a lo largo del muestreo en el CIAT coincide con lo reportado por Kuo, Y. et al. en 1994 (24), que reporta estos géneros, dentro de los géneros predominantes en climas subtropicales, como es el presente en Guatemala. Las levaduras y otros géneros fúngicos sin identificar, se discutirán en la sección C.

C. Levaduras y otros géneros fúngicos sin identificar en LIPRONAT y CIAT

En el caso de levaduras, en ambos locales, no se realizó la identificación, primero por no estar contemplado dentro de los objetivos principales del estudio y segundo porque del 100% de géneros fúngicos obtenidos, menos del 5% fueron levaduras (gráficas 5 y 6). Se puede observar (gráficas 5 y 6) que durante todo el muestreo el porcentaje de géneros sin identificar fue mínimo, menor del 15% principalmente por la dificultad que conlleva la caracterización fúngica, falta de estándares morfológicos (macro y microscópicos), diversidad de cepas.

XI. Conclusiones

1. Se determinó que existe contaminación por hongos microscópicos en el interior y exterior del CIAT y LIPRONAT, con valores mayores a las 500 unidades formadoras de colonia por metro cubico de aire analizado.
2. Los niveles de carga fúngica obtenidos durante los muestreos periódicos en febrero, mayo y junio en el interior del CIAT y en julio y agosto en el interior de LIPRONAT suponen un alto riesgo para la salud del personal que desarrolla sus actividades en ambos laboratorios.
3. En ambos laboratorios los de géneros fúngicos más abundantes fueron: *Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus*, siendo *Cladosporium* el género predominante en la mayoría de meses.
4. En ambos laboratorios no se encontró influencia del ambiente exterior sobre el interior.
5. No se encontró influencia de ningún punto sobre la carga fúngica en ambos ambientes de los dos locales.

XII. Recomendaciones

1. Realizar esfuerzos multidisciplinarios a fin de mejorar la calidad del aire presente en todos los ambientes de las diferentes unidades académicas y dependencias de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Implementar en todas las dependencias que cuenten con ambientes cerrados y los laboratorios sistemas de aire acondicionado con deshumificadores, a fin de disminuir la carga fúngica interior.
3. Incluir entre los monitoreos periódicos realizados por la Universidad, el monitoreo de la calidad microbiológica del aire así como implementar mecanismos para asegurar la salud del personal administrativo, docente y estudiantil de la Universidad.
4. Realizar estudios epidemiológicos de la calidad microbiológica del aire que permitan establecer la influencia del mismo en la salud de las personas.
5. Realizar otros estudios aeromicológicos en diferentes puntos del país a fin de establecer los parámetros de carga fúngica en los diferentes climas que posee Guatemala.

XIII. Referencias

1. CIA. The World Factbook, Central America and Caribbean: Guatemala. 2009. Disponible: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/gt.html>
2. INSIVUMEH. Parámetros climáticos estación central del INSIVUMEH. Disponible: <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/INSIVUMEH%20PARAMETROS.htm>
3. AVANCSO. La Ciudad de Guatemala y su área de influencia urbana: perfiles de problemas y líneas de solución. Serie Temas Urbanos 2000, No. 1. Guatemala: AVANCSO. 2000
4. AVANCSO. El proceso de crecimiento metropolitano de la Ciudad de Guatemala. Cuadernos de Investigación No. 18. Guatemala: AVANCSO. 2003
5. MUNIGUATE. Plan de ordenamiento territorial para el municipio de Guatemala: Documento de soporte. Guatemala: Municipalidad de Guatemala. 2006. 87pp.
6. Stetzenbach, L. *et al.* Manual of environmental Microbiology: Introduction to Aerobiology. USA: Amer Socie for Micro. 1997; 619-628pp
7. Matthais-Maser, S. *et al.* Seasonal variation of primary biological aerosols particles in the remote continental region of Lake Baikal/Siberia. Siberia: Atmos Environ; 2000;34:3805-3811.
8. Hernández, A. NTP 409 Contaminantes biológicos: criterios de evaluación. Disponible: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_409.pdf
9. Atlas, R; Bartha, R. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Pearson Educación. España. 2002.

10. Rojas, T. *et al.* Monitoreo microbiano del aire: Criterios metodológicos. Contribución a la educación y protección ambiental. Cuba: VI Tall Cat de Med Amb. 2000; 1: 110-115.
11. De la Rosa, *et al.* El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Obs Med.* España. 2002; 5:375-402.
12. Ballester, F. Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Rev Esp Sal Pub.* 2005; 79:159-175.
13. Martínez, E. *et al.* Contaminación atmosférica. Universidad de Castilla. España: 2004; 13pp.
14. Romero, M. *et al.* La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Estrucplan on line.* *Rev Cub Hig Epi.* 2006; 44
15. Nolard, N; Beguin H. Tratado de alergia. Ed. Médecines-Sciences Flammarion. Francia: 2003; 441-461.
16. Nolard, N. *et al.* Fungal allergies. *Mini rev Med of inflam.* Francia. 2001; 10; 6-9.
17. Horner, W. *et al.* Fungal allergens. USA: *Clin Microbiol.* 1995; 8: 161-79.
18. Latgé, J. *Aspergillus fumigatus* and aspergillosis. USA: *Clin Micro Rev.* 1999; 12:310-350.
19. Bial; Arístegui. Alergia a los hongos. *Rev Ibe de Mico.* Disponible: <http://hongos-alergenicos.reviberoammicol.com/>
20. Rodríguez, J; Alonzo, J. Efecto de los factores ambientales, laborales y psicosociales, en el síndrome del edificio enfermo, Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. México: Editorial de la Universidad Autónoma del Estado de México, 2004. 11pp.

21. Lacey, J. *et al.* Bioaerosol and occupational lung disease. USA: Aerosol Sci. 1994; 25:1371-1404.
22. Labarrere, N. *et al.* Riesgos biológicos en ambientes confinados. Cuba: Rev Cub de Sal y Trab. 2003; 4:4-7
23. Pasanen, L. *et al.* Laboratory Studies on the relationship between fungal growth and atmospheric temperature and humidity. USA: Env Inter jour. 1991; 25:225-228.
24. Kuo, Y; Li, C. Seasonal fungus prevalence inside and outside of domestic environments in the subtropical climate. Taipei: At Env. 1994; 20:3125-3130.
25. Sánchez, A; Martínez, J. Evaluación del nivel de contaminación por microorganismos en áreas de archivo. Universidad de la Habana, Fac. De Biología. Informe Técnico. Cuba 1998. p33.
26. Rosas, I. *et al.* Indoor and outdoor airborne fungal propaule concentration in México City. Aerobiologia, México. 1997. p13-23.
27. García, T. Consideraciones sobre la microbiota de la mapoteca del Archivo Nacional. Trabajo de Diploma. Facultad de Biología. U.H. Cuba. 1998. p.41.
28. Rojas, T. *et al.* Airborne spores of *Aspergillus* species in cultural institutions at Havana University. Cuba: Grana. 2002; 25:190-193.
29. Bartra, T. Mapa fúngico y estudio multicentrico de sensibilización a hongos en Cataluña. España: Alergol Inmunol Clin. 2003; 18:106-121
30. Burge, H. *et al.* Comparative recoveries of airborne fungus spores by viable and non-viable modes of volumetric Collection. USA: Mycopathology. 1977; 61:27-33.
31. Manzano, A. *et al.* De los miasmas a los edificios enfermos: hongos en el interior. RCCV Vol. 1 (2). 2007.

32. Basílico, M. *et al.* Contaminación fúngica: Influencia de la calefacción y de la orientación de la ventilación en locales de viviendas familiares urbanas y suburbanas de la ciudad de Santa Fe, Argentina. *Rev FABICIB*. 2002; 6:83-88.
33. Horner, W. *et al.* Air and Dustborne Mycoflora in Houses Free of Water Damage and Fungal Growth. *Applied and Environmental Microbiology*. 2004: 6394-6400.
34. Mishalski, S. Un modelo de regulación de la humedad relativa. Instituto de Conservación, Canadá: 1995; 5:130
35. Nevalainen, A. *et al.* Performance of bioaerosol samplers: collection characteristics and sampler design considerations. USA: *Atmos. Environ.* 1992; 4 :531-540.
36. Montoya, R. Ácaros del polvo. Disponible: <http://www.aafatexas.org/docs/dust%20mites%20spanish.pdf>.
37. Leytán, R. Aislamiento de *Histoplasma capsulatum* en la avenida Reforma de la ciudad capital de Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 1991. p30-31.
38. Hernández, A. NTP 313: Calidad del aire interior: riesgos microbiológicos en los sistemas de ventilación/climatización. Disponible: http://www.uclm.es/organos/vic_ordenacionacademica/serviciopreencion/documentacion/NTP/Biosanitarios/ntp_313.pdf.
39. La-Serna, I. *et al.* Airborne fungal spores in the Campus of Anchieta (La Laguna, Tenerife/Carary Is.). España. 2002. p119-123.
40. Pasanen, A. *et al.* Airborne *Cladosporium* and other fungi in damp versus reference residences. USA: *Atmospheric Environment*, Vol. 26B, No.1. 1992. p121-124.

41. Oliva, P. Calidad del aire en Ciudad de Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos. 2000. Disponible: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/2encuent/guatemal.pdf>
42. Oliva, P. Informe anual 2006: Monitoreo del aire en la ciudad de Guatemala. Laboratorio de Monitoreo del Aire. Guatemala: Universidad de San Carlos. 2007. 25pp.
43. Boburg, S. Calidad aerobiológica de locales ocupacionales y áreas exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Laboratorio Microbiológico de Referencia. Guatemala: Universidad de San Carlos (proyecto de investigación) 2007. 29pp.
44. Herrera, K. *et al.* Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y otras áreas de la Universidad de San Carlos de Guatemala. CONCYT. 2008
45. Herrera, J. Informe Ambiental de Guatemala y Bases para la Evaluación Sistemática del Estado del Ambiente 2002-2005: Calidad del aire en Guatemala. Guatemala: Instituto de incidencia ambiental, URL. 2003; 56-64.
46. Korc, M. Situación de los programas de gestión de calidad del aire urbano en América latina y el Caribe. CEPIS/OPS. 2000. 15pp.
47. Wanner, H. *et al.* Biological Particles in Indoor Environments. Indoor Air Quality and Its Impact On Man. OMS. 1993.
48. Reynolds, S. *et al.* (1990). Elevated airborne concentrations of fungi in residential and office environments. *Amer Ind Asso Jour*, 1990; 51: 601-604.
49. Reponen, T. Aerodynamic diameters and respiratory deposition estimates of viable fungal particles in mold problems dwellings. USA: Aero Sci and Tech. 1995; 11-23

50. Reponen, T. *et al.* Bioaerosol and particle mass level and ventilation in finnish homes. *Envir Int.* 1992; 15:203-208.
51. Klanova, K. The concentrations of mixed populations of fungi in indoor air: rooms with and without mould problems, rooms with and without health complaints. *Cent Eur Jour Pub Health.* 2000; 8:59-61.
52. EIHA. Microbial Sampling and Analysis: molds and bacteria. Disponible: <http://www.eagleih.com/micro.html>.
53. ACGIH. Guidelines for the assesment of bioaerosols in the indoor environment. USA: Amer Conf of Gov Indust H Jour. 1989; 20:110.
54. Buttner, P; Stetzenbach, L. Evaluation of four aerobiological sampling methods for the retrieval of aerolized *Pseudomona syringae*. *Appl. Environ. Microbiol.* 1991; 57:1268-1270.
55. Rojas, T. *et al.* Airborne spores *Aspergillus* species in cultural institutions at Havana University. *Grana* 2002; 41:190-193.
56. Alemán, J. *et al.* Conservación bacteriana por método simple a temperatura ambiente: una alternativa viable. *Revista Cubana Higiene y Epid;* 2005; 43(2): 40-50.
57. NRP 201. Análisis higiénico sanitario y ambiental. Métodos de ensayos microbiológicos. 1987. 100pp.
58. Cezar, M. Estudio epidemiológico de alergia a hongos y otros neumoalergenos, en estudiantes de medicina de la Universidad Autónoma de Barcelona, con relación a los niveles fúngicos ambientales. Departamento de biología animal, vegetal y ecológica, Unidad de Botanica, UAB. España, 2009; 250pp.

59. Rodríguez, C. Manual de medios de cultivo. Tercera edición. Centro Nacional de Biopreparados (BIOCEN). Cuba. 2004.
60. Rico, M. Fundamentos de Microbiología. Centro Editorial Javeriano. Santa Fe de Bogotá. Colombia. 1998.
61. Barnett, H; Hunter, B. Illustrated genera of Imperfect Fungi, 3rd Edition Burgess Publishing Co. USA. 1987. 190pp.

XIV. Anexos

A. Cuestionarios a realizar al personal de ambos laboratorios para determinar puntos a muestrear y condiciones de bioseguridad y limpieza existentes

Nota importante: Los siguientes cuestionarios fueron diseñados y proporcionados por el Laboratorio Microbiológico de Referencia -LAMIR- para el proyecto de investigación FODECYT 040-07, el cual se denomina: Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

1. CUESTIONARIO SOBRE LA CALIDAD AEROBIOLÓGICA DEL AMBIENTE OCUPACIONAL PARA LA SELECCIÓN DE ÁREAS O LOCALES

Esta boleta forma parte del estudio aerobiológico de calidad del aire en locales ocupacionales de la Facultad de Farmacia, por lo que es necesario recopilar información de los mismos para analizar todas las fuentes posibles de contaminación y se le solicita su colaboración.

Está conforme con la participación en el presente proyecto de investigación:

A. Si 2. No

Instrucciones: a continuación se le presenta una encuesta que debe contestar con la mayor sinceridad posible.

B. Local: _____

1. No. de personal estable:
- 1. Una persona
 - 2. Dos personas
 - 3. Tres personas
 - 4. Cuatro personas
 - 5. Cinco personas
 - 6. Seis personas

2. Tránsito de personal dentro del local:

1. Abundante 2. Moderado 3. Ligero

3. Características del local: 1. Dimensiones _____

Mobiliario:

4. Estantes:

1. Metal _____ 2. Madera _____

5. Gabinetes:

1. Fórmica _____ 2. Madera _____

6. Escritorio:

1. Metal _____ 2. Madera _____ 3. Madera forrados de fórmica _____

7. Mesas:

1. Metal _____ 2. Madera _____ 3. Madera forrados de fórmica _____

8. Equipo de Laboratorio:

1. Sí _____ 2. No _____

9. Equipo de Oficina:

1. Sí _____ 2. No _____

10. Equipo de Cocina:

1. Sí _____ 2. No _____

11. Mesetas:

1. Fórmica _____ 2. Fórmica y madera _____ 3. Fórmica y ladrillo _____

12. Archivos:

1. Metal _____ 2. Madera _____

Condiciones higiénico-sanitarias:

13. Periodicidad de limpieza del local:

1. Diario _____
2. Dos veces por semana _____
3. Tres veces por semana _____
4. Semanal _____

5. Quincenal _____

6. Mensual _____

14. Hay asignado en su área un encargado de limpieza:

1. Sí _____ 2. No _____

15. Polvo notable sobre superficies de trabajo y equipos:

1. Sí _____ 2. No _____

16. Deterioro de paredes: 1. Sí _____ 2. No _____

17. Deterioro de techos: 1. Sí _____ 2. No _____

18. Deterioro de mobiliario: 1. Sí _____ 2. No _____

19. Se cuenta con algún PEO o Manual de Limpieza: 1. Sí _____ 2. No _____

20. Se cuenta con algún PEO o Manual de Desinfección: 1. Sí _____ 2. No _____

21. Se cuenta con algún PEO o Manual de Bioseguridad: 1. Sí _____ 2. No _____

Tipo de ventilación:

22. Ventanas:

1. Ventanas de paleta _____ 2. Ventanas lisas _____

23. Ventilador:

1. Sí _____ 2. No _____

Infraestructura:

24. Puerta:

1. Metal _____ 2. Madera _____

25. Piso:

1. Granito _____ 2. Decorativo _____ 3. Cemento _____

26. Techo:

1. Cielo falso _____ 2. Lámina con cielo falso _____ 3. Loza _____

27. Paredes:

1. Block _____ 2. Ladrillo _____

2. CUESTIONARIO SOBRE LA CALIDAD AEROBIOLÓGICA DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DEL ÁREA OCUPACIONAL

Esta boleta forma parte del estudio aerobiológico de calidad del aire en locales ocupacionales de la Facultad de Farmacia, por lo que es necesario recopilar información de los mismos para analizar todas las fuentes posibles de contaminación y se le solicita su colaboración.

Está conforme con la participación en el presente proyecto de investigación:

A. Sí ____ 2. No ____

Instrucciones: a continuación se le presenta una encuesta que debe contestar con la mayor sinceridad posible.

B. Local: _____

1. Recibió inducción para realizar la limpieza del local: 1. Sí ____ 2. No ____

2. Recibió inducción para realizar el proceso de desinfección del local:

1. Sí ____ 2. No ____

3. Cuenta con un manual o procedimiento de limpieza o desinfección:

1. Sí ____ 2. No ____

4. Si la respuesta es afirmativa usa el manual para la limpieza y desinfección del local:

1. Sí ____ 2. No ____

5. Conoce el grado de riesgo del trabajo que se realiza en el lugar que limpia:

1. Sí ____ 2. No ____

6. Toma precauciones de acuerdo al riesgo al que puede estar expuesto:

1. Sí ____ 2. No ____

Si su respuesta fue afirmativa indique el material utilizado

7. Guantes: 1. Sí ____ 2. No ____

8. Mascarilla: 1. Sí ____ 2. No ____

9. Cofia: 1. Sí ____ 2. No ____

10. Bata para la limpieza: 1. Sí ____ 2. No ____

11. Conoce que son medidas de Bioseguridad: 1. Sí ____ 2. No ____

12. Sigue algunas medidas de Bioseguridad: 1. Sí ____ 2. No ____

13. Le han proporcionado algún normativo de Bioseguridad:

1. Sí _____ 2. No _____

Tipo de limpieza que realiza:

14. Barre:

1. Sí _____ 2. No _____

15. Si su respuesta fue afirmativa indique material utilizado

1. Escoba _____ 2. Mopa _____

16. Trapea:

1. Sí _____ 2. No _____

17. Si su respuesta fue afirmativa indique material utilizado

1. Desinfectante comercial _____ 2. Sanolín o quita polvo _____ 3. Cloro _____

4. Agua _____ 5. Cera _____

18. Limpieza de mobiliario:

1. Sí _____ 2. No _____

19. Si su respuesta fue afirmativa indique material utilizado

1. Desinfectante _____ 2. Alcohol _____ 3. Detergente _____ 4. Cloro _____

5. Agua _____

20. Desempolva:

1. Sí _____ 2. No _____

21. Si su respuesta fue afirmativa indique material utilizado

1. Plumero _____ 2. Aspiradora _____ 3. Trapo _____

22. Tipo de desinfección que realiza:

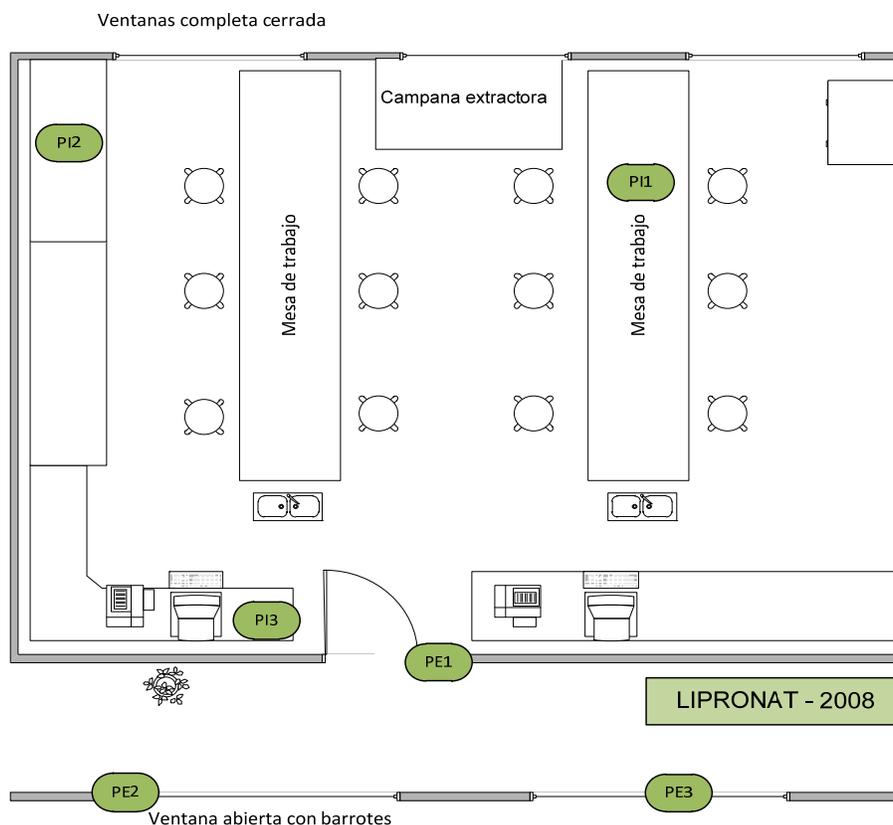
▪ Desinfectar: 1. Sí _____ 2. No _____

23. Si su respuesta fue afirmativa indique material utilizado

1. Cloro _____ 2. Desinfectante

B. Diseño y distribución de puntos de muestreo del Laboratorio de Investigación en Productos Naturales (LIPRONAT)

Nota: Este diseño se fue realizado en Microsoft Office Visio 2007.



En donde PI = Punto interior; PE = Punto exterior

1. Características del laboratorio

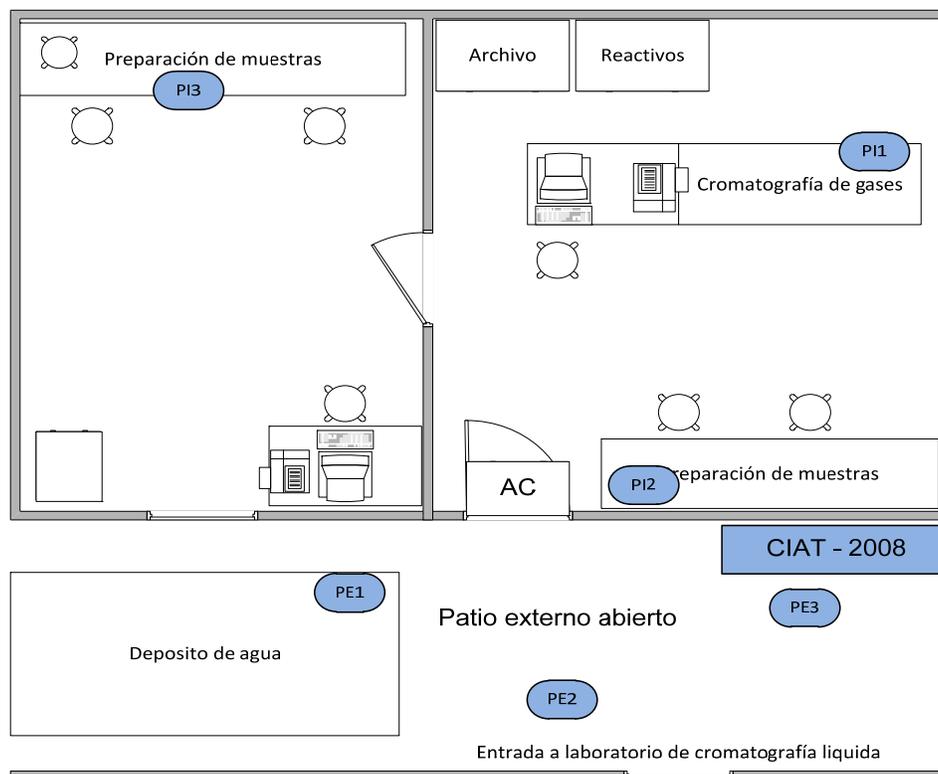
Dos paredes completas de plancha fundida, una en cada costado. Una pared en el frente de ladrillo que posee una puerta de metal en el medio, que se puede dividir en dos de manera horizontal. Además de una pared en el fondo que posee ventanas de paletas de vidrio que van de lado a lado del local. Dos mesetas de trabajo de fórmica con ladrillo, un extractor de vapor, una campana con extracción para la manipulación de reactivos tóxicos. Almacenamiento de materia vegetal en bolsas negras en estanterías ubicadas en cada pared.

2. Mobiliario y equipo

Dos lavatrastos, dos computadoras, un espectro ultravioleta, dos impresoras, cristalería, refrigeradora, archivos y armarios

C. Diseño y distribución de puntos de muestreo del Centro de Información y Asesoría Toxicológica (CIAT)

Nota: Este diseño se fue realizado en Microsoft Office Visio 2007.



En donde PI = Punto interior; PE = Punto exterior

1. Características del laboratorio

Tres paredes de adobe. Una pared divisora del local en dos con una puerta en el centro de madera con vidrio en el interior del mismo. Una pared en el frente de adobe con dos puertas de madera con vidrio que permiten el ingreso a las dos áreas de este local.

2. Mobiliario y equipo

Un aire acondicionado (desde julio de 2008). Una mesa de trabajo de madera donde se preparan las muestras que se van a inyectar al equipo, un cromatógrafo de gases con su computadora, un tanque metálico de gas, un archivo metálico en el fondo de esta área del local y una silla de madera. Además cuenta con secadora de muestras, una centrífuga, un potenciómetro, un escritorio con computadora, ubicado detrás de la puerta de entrada, un archivo de metal, una silla de rodos y bancos de metal con forro.

D. Aeroscopio MAS-100 Eco de Merck

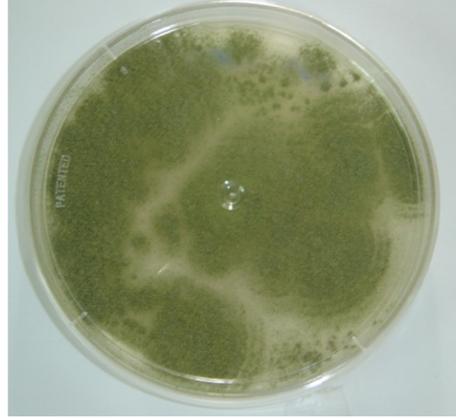
Tomado de: Merck LabBusiness. Manual operativo del colector móvil de aire MAS-100 Eco.
Alemania: Merck KGaA. 2006. 40pp.

E. Aislamiento fúngico

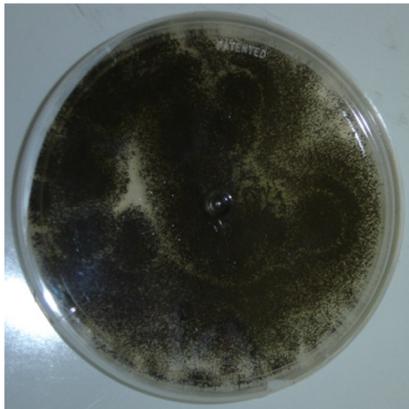
Nota: Todas las fotos aquí publicadas fueron tomadas por parte del autor durante la caracterización e identificación de especies fúngicas del presente proyecto de investigación.



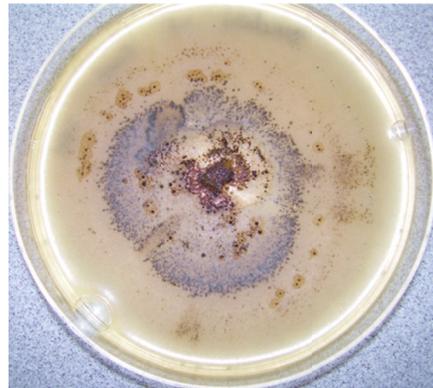
Cladosporium sp.



Penicilium sp.



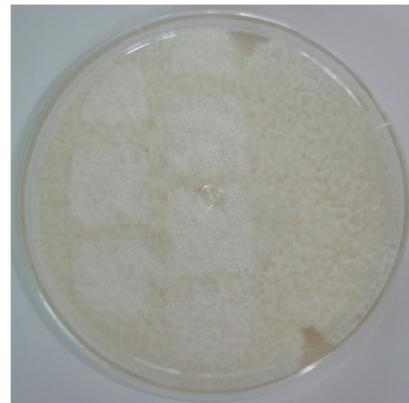
Aspergillus sp.



Monilia sp.



Rhizopus sp.



Fusarium sp.

F. Caracterización macroscópica

Nota: El siguiente formato fue realizado por el autor para la caracterización macroscópica, tanto de este proyecto como del proyecto FODECYT 40-07

CÓDIGO DE LA CEPA: _____.

CARACTERÍSTICAS DEL ANVERSO

COLOR ANVERSO: _____.

BORDE: LISO ONDULADO LOBULADO IRREGULAR CILIADO
 RAMIFICADO LANUDO EN FORMA EN FORMA OTRO: _____

 DE HILO DE RISO

ASPECTO: LISO RUGOSO POLVOSO VELLOSO CEREBRIFORME
 LANOSO FLOCOSO PULVERULENTO ALGODONOSO ATERCIOPELADO
 BRILLOSO OTRO: _____.

CONSISTENCIA: DURA BLANDA MUCOIDE ELÁSTICA OTRO: _____.

SUPERFICIE: PLANA CONVEXA OTRA: _____.

TIPO DE CRECIMIENTO: REDONDA REDONDA CON MARGEN DENTADO REDONDA CON MARGEN ELEVADO REDONDA CON MARGEN RADIAL
 RUGOSA CONCÉNTRICA FILIFORME RIZOIDE
 COMPLEJA IRREGULAR Y FORMAL FILAMENTOSA

EXUDADO: SI NO

CARACTERÍSTICAS DEL REVERSO

COLOR REVERSO: _____.

BORDE: LISO ONDULADA LOBULADO IRREGULAR CILIADA
 RAMIFICADA LANUDO EN FORMA EN FORMA OTRO: _____

 DE HILO DE RISO

SUPERFICIE: PLANA CONVEXA OTRA: _____.

TIPO DE CRECIMIENTO: REDONDA REDONDA CON MARGEN DENTADO REDONDA CON MARGEN ELEVADO REDONDA CON MARGEN RADIAL
 RUGOSA CONCÉNTRICA FILIFORME RIZOIDE
 COMPLEJA IRREGULAR Y FORMAL FILAMENTOSA
 EXPANSIVA

PIGMENTACIÓN: SI, COLOR: _____ NO

G. Identificación y Caracterización de géneros fúngicos

Nota: Todas las fotos aquí publicadas fueron tomadas por parte del autor durante la caracterización e identificación de especies fúngicas del presente proyecto de investigación. Todas las muestras fueron preparadas en azul de lactofenol

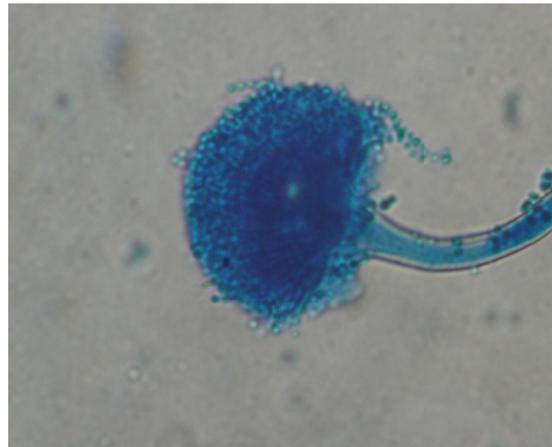


Preparación en azul de lactofenol para
identificación de genero fúngico

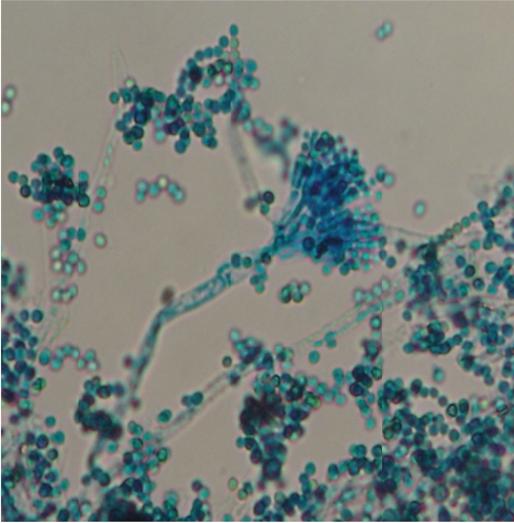
Cladosporium sp.



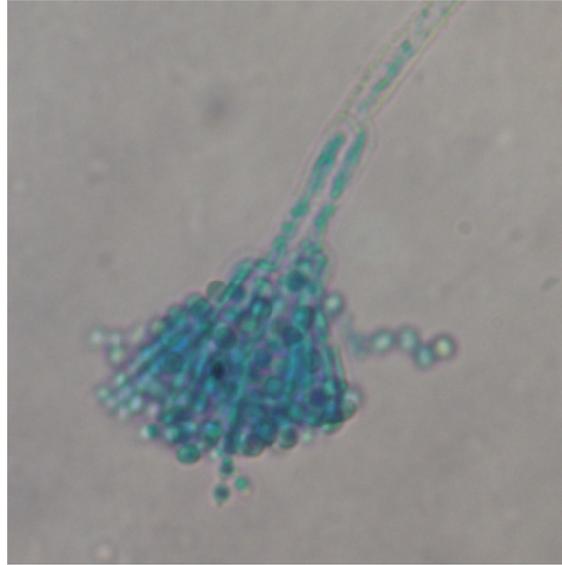
Aspergillus niger



Aspergillus sp.



Penicillium sp.



Penicillium sp.



Fusarium sp.



Rhizopus sp.



Enrique Rafael Solís Cajas

Autor



Doctora Karin Larissa Herrera

Asesora



MSc. Vivian Lucrecia Matta Ríos

Revisora



MSc. Vivian Lucrecia Matta Ríos

Directora



Oscar Cobar Pinto, Ph.D.

Decano